G. Knopf

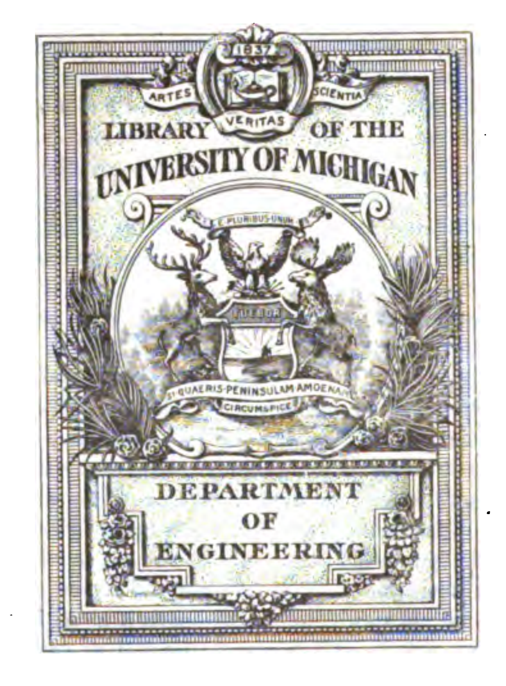
Die Stromversorgung der Telegraphen- und Fernsprechanstalten

Verlag von
Friedr. Vieweg & Sohn
Braunschweig

ANKÜNDIGUNG.

Der Strombedarf der Telegraphen- und Fernsprecheinrichtungen wurde früher ausschließlich durch Primärelemente bestritten, die sich allen Betriebsarten aufs bequemste anpassen ließen. Mit der Zeit war aber die Zahl der Batterien auf den großen Ämtern derart angeschwollen, daß es schwer wurde, sie in geeigneten Räumen unterzubringen und sehr kostspielig, sie ordnungsmäßig zu ... ngen, diese alt-
gewohnten ... n neueren und
wirksamere ... trischer Energie
zu ersetzen ... eren vorhandene
Ausführung ... geschaffen und
verwendet ... jene Arten des
Schwachstr ... trotechniker die
Forderung ... eue Formen der
modernen S ... die Telegraphen-
und Fernsp ... Stromversorgung
ihrer Betrie ... ichen zu lernen;
jene kannt ... rombetriebes zu
wenig und ... nden Gebiet der
Technik si ...

Für b ... s es an Werken
fehlte, die ... zer wie dem Be-
dürfnis de ... n. Dieses Ziel
nun erstre ... arf bedingenden
Erfordernis ... gt und die Ein-
richtung, ... ynamomaschinen
und Samm ... nach ihrer Ver-
wendungsa ... 'elegraphen- und
Fernsprech ... g sind auch die
gebräuchlic ... ebensowohl für
die Elektrotechniker geschrieben, die diese Art von Kraftanlagen herstellen, wie für die Beamten der Telegraphen-Verwaltungen, die sie betriebsmäßig benutzen.



Braunschweig, im Mai 1910.

Friedrich Vieweg und Sohn.



TELEGRAPHEN- UND FERNSPRECH-TECHNIK

IN EINZELDARSTELLUNGEN

UNTER MITWIRKUNG ANDERER FACHMÄNNER

HERAUSGEGEBEN

VON

TH. KARRASS

GEH. POSTRAT

OBER-TELEGRAPHENINGENIEUR IM REICHS-POSTAMT

IX.

DIE STROMVERSORGUNG DER TELEGRAPHEN- UND FERNSPRECHANSTALTEN

VON

G. KNOPF

MIT 210 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND VIER TAFELN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1910

DIE STROMVERSORGUNG

DER

TELEGRAPHEN-

UND

FERNSPRECHANSTALTEN

VON

G. KNOPF
OBER-POSTINSPEKTOR IN BERLIN

MIT 210 EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN
UND VIER TAFELN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1910

VORWORT.

Mit der Entwicklung der Telegraphen- und Fernsprechtechnik hat die Bedeutung der Batterieanlagen immer mehr zugenommen. Die früher allgemein benutzten Primärelemente, die sich in ihrer Behandlung und Wirkungsweise dem Schwachstrombetriebe so gut anpaßten, sind vielfach durch Sammler und Dynamomaschinen verdrängt worden. Damit ist der Telegraphenbeamte vor die Aufgabe gestellt, Starkstromeinrichtungen anzulegen und zu behandeln. Die Erfüllung dieser Aufgabe wird ihm dadurch erschwert, daß die Werke über Dynamomaschinen, Sammler, Leitungen, Sicherungen usw. einerseits umfangreich sind und weitgehende wissenschaftliche Vorkenntnisse voraussetzen, und daß sie andererseits die besonderen Verhältnisse des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes nicht berücksichtigen.

Das vorliegende Buch sucht hier zu vermitteln und dem Telegraphenbeamten die ihm unentbehrliche Kenntnis der modernen Stromquellen und Stromversorgungsanlagen zu verschaffen. Zu diesem Zweck sind die Sammler und Dynamomaschinen, soweit sie für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb in Betracht kommen, in ihrer Wirkungsweise, ihrer Behandlung und ihren Betriebskosten planmäßig besprochen worden. Bei den gebräuchlichen Primärelementen behandelt das vorliegende Werk namentlich die Punkte, die für den Praktiker wichtig sind, nämlich die Entstehung des Stromes und die daraus sich ergebenden theoretischen Stromkosten, ferner die Kosten der Unterhaltung und die Leistungsfähigkeit der Elemente. Die Eigenschaften und Betriebskosten der Primärelemente und Sammler sind in einer vergleichenden Übersicht zusammengestellt.

Die Stromversorgungsanlagen sind wie die Betriebsweisen sehr vielgestaltig, besonders im Telegraphenbetriebe. Um die Besprechung der

Einrichtungen möglichst vollständig und übersichtlich zu gestalten, sind die verschiedenen Gruppen und Muster planmäßig erörtert und durch Beispiele eingehend erläutert worden. Dabei werden sie nach ihrer Verwendungsart und ihren Kosten verglichen. Die Erörterungen über die Stromversorgungsanlagen enthalten Vorschriften und Erläuterungen über Bauart, Wirkungsweise und Anbringung der zugehörigen Apparate, Leitungen und Sicherungen.

Die Darstellung stützt sich auf die dem Telegraphenbeamten geläufigen Anschauungen und ist bemüht, ihn so zu unterrichten, daß er nicht allein mit der Behandlung der Batterieanlagen vertraut gemacht, sondern auch befähigt wird, Änderungen oder Neueinrichtungen zweckentsprechend selbst auszuführen.

Berlin, im Mai 1910.

G. Knopf.

INHALTSÜBERSICHT.

Zweiter Abschnitt.

Stromquellen.

A. Primärelemente.

B. Sekundärelemente (Blei-Sammler).

Dritter Abschnitt.

Stromversorgungsanlagen.

A. Schalteinrichtungen.

B. Leitungen und Sicherungen.

Anhang.

Allgemeines über Dynamomaschinen.

Einleitung.

Die Größe und die Art des Stromverbrauchs bilden die Grundlage für die Ausgestaltung der Stromversorgungseinrichtungen von Telegraphen- und Fernsprechanstalten. Für die Auswahl einer geeigneten Stromquelle ist neben der erforderlichen Strommenge der Höchstwert der Stromstärke von Bedeutung. Danach lassen sich für die einzelnen Betriebsarten bestimmte Regeln über die Anforderungen aufstellen, denen die Stromquellen entsprechen müssen. Eine Betrachtung der Eigenschaften der gebräuchlichen Stromquellen ermöglicht es, diejenigen auszuwählen, die nach ihren Eigenschaften und Kosten die größten Vorteile in technischer und wirtschaftlicher Beziehung bieten. Auch im Betriebe muß auf die Eigenschaften der Stromquellen Rücksicht genommen werden. Namentlich ist eine genaue Kenntnis der Wirkungsweise der neuerdings vielfach verwendeten Sammler und Dynamomaschinen erforderlich. Die verschiedenen Ausführungsformen von Stromversorgungsanlagen lassen sich ihrem Wesen nach in gewisse Gruppen einteilen, die für bestimmte Betriebsbedingungen passen. Für die Einrichtung der zugehörigen Apparate und Leitungen bestehen Vorschriften und Regeln, die bei der Herstellung und Benutzung der Anlagen zu beachten sind.

Erster Abschnitt.

Strombedarf der Telegraphen- und Fernsprechanstalten.

A. Telegraphenbetrieb.

a) Morse- oder Klopfer-Arbeitsstrombetrieb. In Morseleitungen mit Arbeitsstrombetrieb wird etwa während der Hälfte der Gebezeit Strom verbraucht, wie man durch Messung der Zeichenlängen auf einem Morsestreifen feststellen kann. Da der Betrieb während des größten Teils der Nacht ruht und auch stark benutzte Leitungen am Tage nicht dauernd beansprucht werden, so kann man acht Stunden als tägliche Benutzungsdauer ansehen. Von dieser Zeit wird in der Regel die Hälfte für das Abgeben und die Hälfte für das Aufnehmen von Telegrammen verwendet. Danach ergibt sich für sehr stark benutzte Leitungen im Laufe eines Tages eine Stromsendungsdauer von $^1/_2 \times 8 \times ^1/_2 = 2$ Stunden. Für die Mehrzahl der Leitungen wird wegen der größeren Ruhepausen nur eine Stunde anzusetzen sein, für schwach benutzte Leitungen nur eine halbe Stunde.

Die Stärke des abgehenden Telegraphierstromes wird in der Regel zu 0,013 A angenommen. Sie steigt aber im Betriebe sehr oft, namentlich bei feuchtem Wetter, über 0,02 A, so daß man diesen Wert als Durchschnitt ansetzen muß.

Aus der Zeitdauer und der Stärke des Stromes ergibt sich der tägliche Stromverbrauch, und zwar für Leitungen

a) mit sehr starkem Verkehr $2 \times 0{,}02 = 0{,}04$ AS,
b) „ starkem „ $1 \times 0{,}02 = 0{,}02$ AS,
c) „ schwachem „ $^1/_2 \times 0{,}02 = 0{,}01$ AS.

Dies Ergebnis stimmt mit den Werten überein, die wiederholt durch Einschaltung von Voltametern und Strommessern ermittelt worden sind [1]). Beim Haupttelegraphenamt in Berlin betrug der tägliche Stromverbrauch einer Leitung durchschnittlich 0,022 AS.

b) Ruhestrombetrieb. Für Morseleitungen mit Ruhestrombetrieb ist die Gesamtdauer der Stromunterbrechungen im Laufe eines Tages auf eine Stunde zu schätzen. Die Stromstärke beträgt bei hintereinander geschalteten Elektromagnetrollen etwa 0,015 A und bei nebeneinander ge-

---

[1]) E. T. Z. 1890, S. 168, 629; 1891, S. 87; 1893, S. 287.

schalteten das Doppelte. Danach beläuft sich der tägliche Stromverbrauch in Leitungen

a) mit hintereinander geschalteten Rollen auf 0,015 (24 — 1) = 0,35 AS,
b) mit nebeneinander geschalteten Rollen auf 0,7 AS.

c) Hughesbetrieb. Während eines Umlaufs werden durchschnittlich $1^1/_4$ Zeichen gegeben. Für jedes Zeichen erfolgt eine Stromsendung, deren Dauer etwa $^1/_{12}$ des Umlaufs in Anspruch nimmt. Daher kann man $1^1/_4 \times {}^1/_{12} = {}^1/_{10}$ der Gebezeit für die Stromsendung ansetzen. Nimmt man, wie beim Morsebetriebe, die Leitung für 8 Stunden als besetzt an, und rechnet man von dieser Zeit die Hälfte für das Aufnehmen von Telegrammen, so ergibt sich eine tägliche Dauer der Stromsendung von $^1/_{10} \times 8 \times {}^1/_2 = 0{,}4$ Stunden. Bei einer Stromstärke von 0,025 A beträgt daher im Einfachbetriebe der tägliche Stromverbrauch in Leitungen

a) mit sehr starkem Verkehr: 0,4 × 0,025 = 0,01 AS,
b) mit starkem Verkehr die Hälfte davon = 0,005 AS.

Beim Gegensprechbetriebe steigt die Stromstärke bis auf 0,075 A. Der Stromverbrauch ruht während der 8-stündigen Betriebszeit in der Regel nicht, da an dem Sendeapparat ohne nennenswerte Pausen gegeben wird; er kann daher Werte bis zu 0,06 bzw. 0,03 AS erreichen.

d) Sonstige Betriebsarten. Sonstige Betriebsarten sind bei den Telegraphenanstalten meist nur in geringer Anzahl vorhanden und daher für die Höhe des gesamten Strombedarfs nicht von Bedeutung.

Für den Wheatstonebetrieb ist an positivem und negativem Strom doppelt so viel als beim Morsebetrieb anzusetzen.

Ebenso verdoppelt sich der Stromverbrauch unterirdischer Leitungen, wenn Induktanzrollen daran angeschaltet sind.

B. Fernsprechbetrieb.

Allgemeines. Im Betriebe der Fernsprechanstalten hat man in der Regel mit Strömen von längerer, durch die Erfahrung bekannter Dauer zu rechnen. Für die Mehrzahl der Stromkreise ergibt sich ein bedeutender, aus der Stromstärke und der Benutzungszeit zu ermittelnder Stromverbrauch, demgegenüber der Verbrauch einiger Kreise mit kurzen Benutzungszeiten vernachlässigt werden kann.

I. Zentralbatterie-System Siemens & Halske mit geteilter Batterie.

Für das ältere System Siemens & Halske mit geteilter Batterie sind die vorkommenden Verbindungen in **Fig. 1** veranschaulicht[1]. Die Widerstände der Apparate usw. sind in Zahlen angegeben. Die Batteriespannung beträgt 2 × 12 V.

1. Berechnung der Stromstärken.

a) Amtsmikrophon- und Lampenstrom. Die Amtsmikrophone werden mit 24 V gespeist; die Stromstärke beträgt nach dem Ohmschen Gesetz

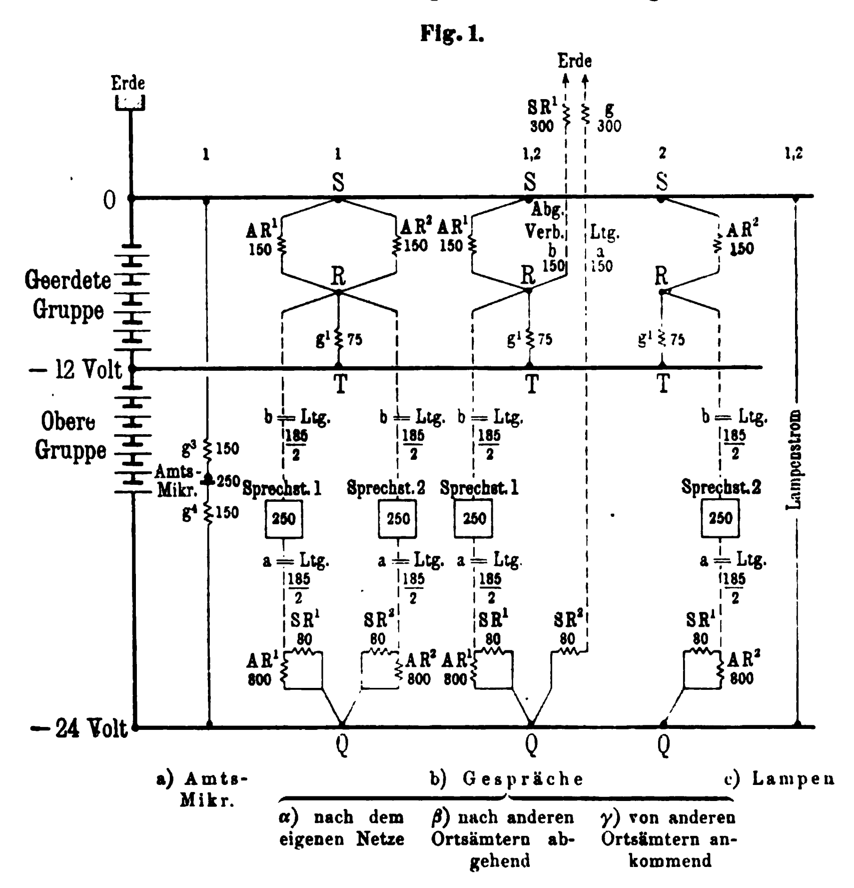
[1]) Vgl. Archiv f. P. u. T. 1906, S. 4 und 5, Fig. 1 und 2. Auf diese Figuren weisen die kleinen Zahlen hin, die in der Fig. 1 oben eingedruckt stehen.

$\frac{24}{150 + 250 + 150} = 0{,}043$ A. Die Stromstärke der 24-voltigen Lampen ist durch Messung auf 0,08 A bestimmt worden.

b) Teilnehmer- und Zeichenstrom für ältere Einrichtungen. Für die übrigen Kreise ist die Berechnung umständlicher, da sie Stromwege mit verteilten Batterien darstellen und zweckmäßig nach den Kirchhoffschen Sätzen zu behandeln sind.

α) In der Fig. 1 ist unter b, α eine Gesprächsverbindung zwischen Teilnehmern desselben Amts dargestellt. Von der gemeinschaftlichen

Fig. 1.

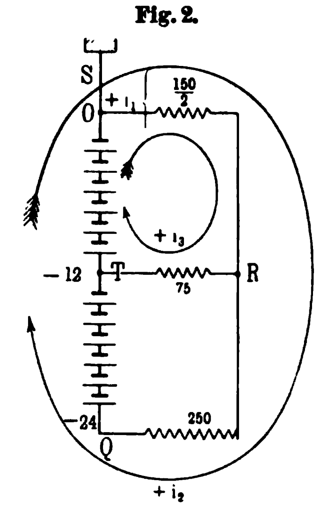


Batteriezuführung zweigen sich in Q die Zuleitungen zu den Anrufrelais (800-Ohm-Wicklung) und Schlußrelais (80 Ohm) ab. Auf der anderen Seite sind beide Relais durch Einsetzen des Abfrage- und des Verbindungsstöpsels in die Klinken miteinander verbunden. An die Verbindungsstelle schließen sich: die a-Leitung des Teilnehmers — dessen Sprechstelle mit Feinsicherungen, Mikrophon und Induktionsspule — die b-Leitung — und die Klinkenhülse (R). Diese ist bei dem älteren System durch die b-Ader des Schnurpaares mit der Klinkenhülse des anderen Teilnehmers verbunden, so daß zwischen Q und R zwei Stromwege über die beiden Teilnehmerstellen bestehen. Vom Punkte R

ab führen zwei Wege über die Haltewicklungen (150 Ohm) der beiden Anrufrelais zum geerdeten positiven Pol (S) der Batterie und ein Stromweg über die 75-ohmige Speisespule zur Batteriemitte (T).

Für den Widerstand der Teilnehmerleitungen wird zweckmäßig ein Durchschnittswert angesetzt, der sich aus der gesamten Leitungslänge und der Zahl der Anschlüsse ergibt. Wenn die Leitungen unterirdisch geführt sind, hat man die durchschnittliche Doppelleitungslänge mit dem Widerstande von 1 km Kabelader (37 Ohm) zu multiplizieren, um den Leitungswiderstand zu erhalten. Im vorliegenden Falle sind 185 Ohm angesetzt. Dieser Wert enthält zugleich den Widerstand der beim Amt eingeschalteten Feinsicherungen.

Fig. 2.



Unter Kombination der Widerstände berechnet sich der Gesamtwert zwischen den Punkten Q und R zu

$$^1/_2 \cdot \left(\frac{800 \times 80}{800 + 80} + \frac{185}{2} + 250 + \frac{185}{2}\right) = 250 \text{ Ohm.}$$

Ferner beträgt der Widerstand RS 150/2 und der Widerstand RT 75 Ohm. Diese beiden gleichen Werte müssen voneinander unterschieden werden, damit die nachfolgende Ableitung auch für andere Verhältnisse Geltung hat.

Die Verteilung der Widerstände und Batterien, die sich danach ergibt, ist in **Fig. 2** dargestellt. Die in den drei Widerständen fließenden Ströme sind mit i_1, i_2 und i_3 bezeichnet. Ihre (zunächst angenommene) Richtung ist durch Pfeile bezeichnet. Nach den Kirchhoffschen Sätzen lassen sich folgende Gleichungen aufstellen:

(1) $$i_2 = i_1 - i_3,$$

(2) $$150/_2\, i_1 + 250\, i_2 = 24; \quad \text{daraus: } i_1 = \frac{24 - 250\, i_2}{150/2},$$

(3) $$250\, i_2 \quad - 75\, i_3 \quad = 12; \quad \text{daraus: } i_3 = \frac{250\, i_2 - 12}{75}.$$

Setzt man aus (2) und (3) die Werte für i_1 und i_3 in (1) ein, so erhält man:

$$i_2 = \frac{24 \times 75 + 12 \times 150/2}{75 \times 150/2 + 250\,(75 + 150/2)} = 0{,}063 \text{ A.}$$

und aus (2):

$$i_1 = \frac{24 - 250 \times 0{,}063}{150/2} = 0{,}11 \text{ A.}$$

β) Für Gesprächsverbindungen mit anderen Ämtern desselben Ortes in abgehender Richtung (s. Fig. 1 unter b, *β*) können die oben ermittelten Formeln ebenfalls angewendet werden. An die Stelle des zweiten Teilnehmerkreises tritt jedoch die Verbindungsleitung, deren *a*-Zweig von den übrigen Stromwegen unabhängig ist. Er hat nach dem Ohmschen Gesetz

eine Stromstärke von $\frac{24}{80 + 150 + 300} = 0{,}045$ A. In die Formel für den Strom i_2 ist der Widerstand nur eines Teilnehmerkreises mit 500 Ohm und der Widerstand des verzweigten Stromweges von R zur Erde mit

$$\frac{150\,(150 + 300)}{150 + 150 + 300} = 113 \text{ Ohm}$$

einzusetzen. Danach ist:

$$i_2 = \frac{24 \times 75 + 12 \times 113}{75 \times 113 + 500\,(75 + 113)} = 0{,}031 \text{ A}$$

und

$$i_1 = \frac{24 - 500 \times 0{,}031}{113} = 0{,}076 \text{ A.}$$

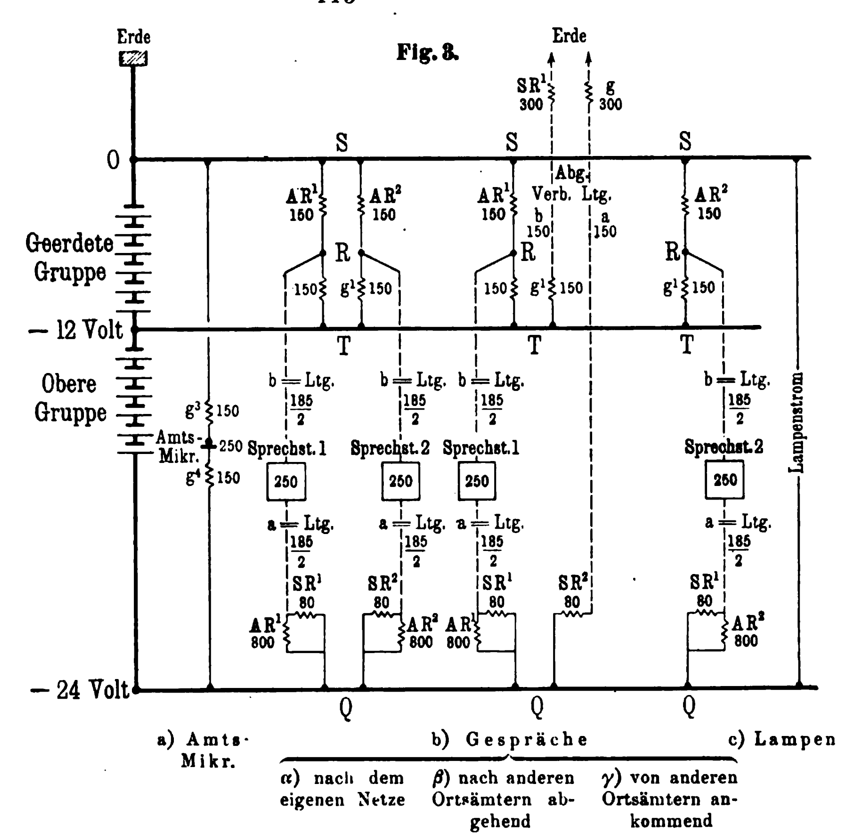


Fig. 3.

γ) Für Sprechverbindungen in ankommender Richtung (s. Fig. 1 unter b, *γ*), wobei nur eine Teilnehmerleitung zu speisen ist, wird die Stromstärke in ähnlicher Weise berechnet:

$$i_2 = \frac{24 \times 75 + 12 \times 150}{75 \times 150 + 500\,(75 + 150)} = 0{,}029 \text{ A,}$$

$$i_1 = \frac{24 - 500 \times 0{,}029}{150} = 0{,}063 \text{ A.}$$

c) **Abweichungen bei neueren Einrichtungen.** Bei Erweiterung von Amtseinrichtungen werden die beiden Teilnehmerstromkreise durch einen in die b-Ader des Schnurpaares eingeschalteten Kondensator voneinander getrennt. Außerdem werden zwei Speisespulen von je 150 Ohm verwendet. Die Stromwege nehmen dadurch die in **Fig. 3** dargestellte Form an. Der Teilnehmerstromkreis hat bei allen Verbindungen dieselbe Zusammensetzung. Seine Stromstärken sind:

$$i_2 = \frac{24 \times 150 + 12 \times 150}{150 \times 150 + 500\,(150 + 150)} = 0{,}031 \text{ A},$$

$$i_1 = \frac{24 - 500 \times 0{,}031}{150} = 0{,}057 \text{ A}.$$

Für Gesprächsverbindungen innerhalb des Amts sind diese Werte zu verdoppeln. Bei Verbindungen nach anderen Ämtern treten noch die Ströme der Verbindungsleitung hinzu, und zwar:

in der a-Leitung, wie oben $= 0{,}045$ A,

in der b-Leitung $\frac{12}{150 + 150 + 300} = 0{,}02$ A.

2. Graphische Darstellung der Spannungs- und Stromverhältnisse für Gesprächsverbindungen.

Allgemeines. Zur Veranschaulichung des Stromverlaufs in den verzweigten Netzen der Gesprächsverbindungen empfiehlt es sich, die Spannungen der einzelnen Punkte durch ihren Abstand von einer Nullinie darzustellen. Es werden in passend angenommenem Maßstabe die Widerstandswerte auf der Nullinie (Abszissenachse) abgetragen und in den Teilpunkten Lote (Ordinaten) errichtet, deren Längen die dort herrschenden Spannungen angeben.

In den später folgenden Figuren 4 bis 6 stellen die Linien QR, RS und RT den Verlauf der Spannung zwischen den entsprechenden Punkten der in Fig. 1 angegebenen Gesprächsnetze dar, und zwar für eine in unmittelbarer Nähe der Vermittelungsanstalt gelegene Sprechstelle. Die Zeichnungen enthalten außerdem noch eine zweite gleiche Darstellung für einen 5 km vom Amt entfernten Anschluß, so daß die größten und die kleinsten Werte abgelesen werden können. Der Anschaulichkeit halber sind die negativen Spannungen nicht nach unten sondern nach oben abgetragen und nach der Nullinie hin nicht ansteigend sondern abfallend dargestellt.

Für nahe beim Amte gelegene Sprechstellen beträgt der Gesamtwiderstand zwischen den Punkten Q und R für Gespräche nach oder von anderen Ämtern:

$$\frac{80 \times 800}{80 + 800} + 50 \text{ (Feinsicherungen)} + 250 \text{ (Sprechstelle)} = 370 \text{ Ohm}$$

und für Gespräche im eigenen Amte mit Speisung von zwei Teilnehmern die Hälfte davon $= 185$ Ohm. Bei Anschlußleitungen von 5 km Länge ist zu diesen Werten noch der Widerstand von 5 km Doppelader, d. i. $5 \times 2 \times 37 = 370$ Ohm, hinzuzurechnen, so daß der Gesamtwiderstand bei Verbindungen mit anderen Ämtern $370 + 370 = 740$ Ohm und bei Verbindungen im eigenen Amt $740/2 = 370$ Ohm beträgt.



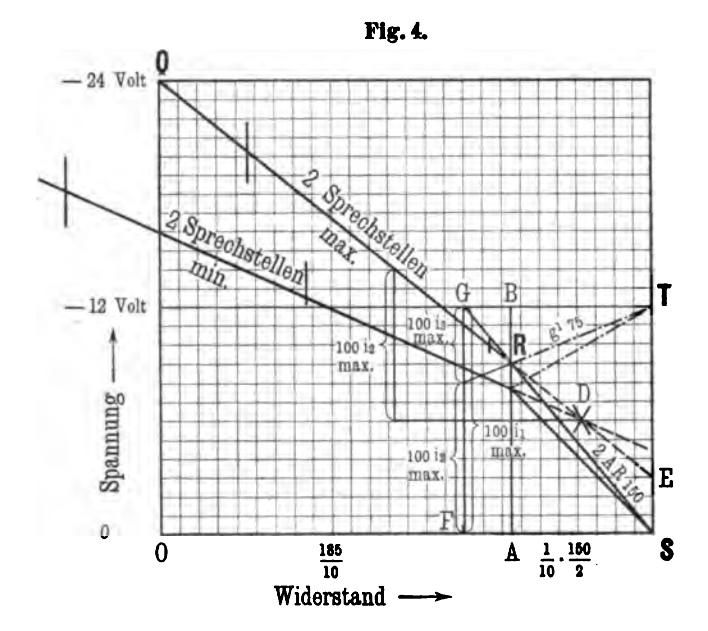
α) **Gesprächsverbindungen zwischen zwei Teilnehmern desselben Amts.** Nach Fig. 2 (S. 5) senkt sich die Spannung von T nach R um $i_3 \times 75$ und von R nach S um $i_3 \times 150/2 + i_2 \times 150/2$; dem Strom i_3 entspricht daher auf der Strecke QR ein Spannungsabfall von $12 + i_3 \times 75$ und auf der Strecke RS ein solcher von

$$12 - i_3 \times 75 - i_3\, 150/2 = 12 - 2\,(i_3 \times 75).$$

Stellt man den zum Strom i_3 gehörigen Spannungsverlauf durch eine gerade Linie dar, so beginnt diese in einer Höhe von 24 V, erreicht in R einen Wert, der um einen gewissen Betrag ($i_3 \times 75$) niedriger ist als 12 V, und endet schließlich bei einem Werte von demselben Betrage oberhalb der Nullinie.

Zur Konstruktion der unbekannten Spannungsgrößen trägt man auf einer Geraden (**Fig. 4**) die Werte der zwischen QR und RS liegenden

Fig. 4.



Widerstände in einem beliebig gewählten Maßstabe[1]) ab, nämlich OA und AS, errichtet in O entsprechend der im Punkte Q herrschenden Batteriespannung von 24 V ein Lot $OQ = 24$ Einheiten und in A und S entsprechend der Spannung im Punkte T Lote $= 12$ Einheiten, ermittelt im Rechteck $ABTS$ den Kreuzungspunkt der Diagonalen D, zieht die Gerade QDE und erhält dadurch den gesuchten Punkt R. Von hier aus zieht man die Geraden RS und RT. Die Gerade QE schneidet, da sie durch den Kreuzungspunkt der Diagonalen führt, von beiden Rechtecksseiten die gleichen Stücke BR und SE ab. Die Spannung des Punktes R liegt demnach um denselben Betrag unterhalb der 12-Volt-Linie, wie die Spannung des Punktes E oberhalb der Nullinie.

[1]) Um der Figur eine passende Größe zu geben, ist für die Widerstände nur $^1/_{10}$ der für die Spannungen gewählten Längeneinheit aufgetragen, so daß die abgelesenen Stromwerte (vgl. S. 9) das Zehnfache der wirklichen Größen darstellen.

Durch Abzählen der Linien kann man aus der Abbildung ersehen, daß die Spannung besetzter Klinkenhülsen (R) 8 bis 9 V beträgt. Wenn man den Widerstand der Teilnehmerkreise (185) in seine einzelnen Teile zerlegt und in den Teilpunkten der Strecke $O\,A$ Lote errichtet bis zum Schnittpunkt mit der Linie QR, so gibt die Länge der Lote die Spannung der zugehörigen Stellen an, z. B. vor oder hinter der Teilnehmerstelle.

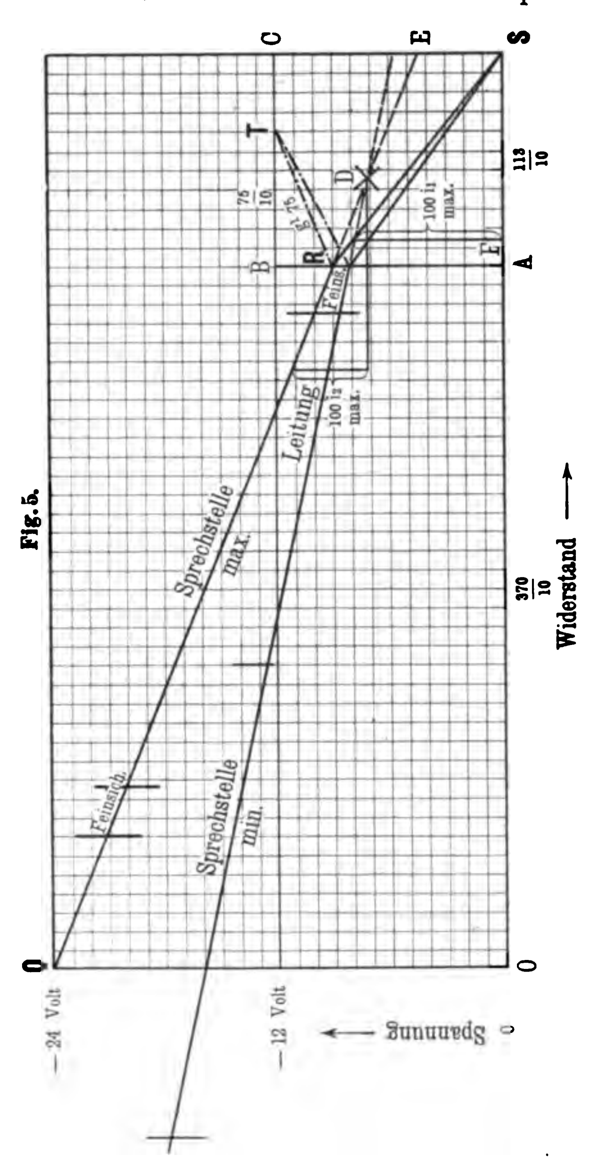


Fig. 5.

Auch die Stromstärken i_1, i_2, i_3 kann man an den Spannungslinien ablesen, da sie nach dem **Ohm**schen Gesetz für den Widerstand 1 gleich der Spannung sind. Zur Erzielung größerer Genauigkeit empfiehlt es sich, die Ablesung nicht für den Widerstand 1, sondern für den Wert 10 vorzunehmen, wobei das Zehnfache abgelesen wird. Im ganzen erhält man daher den hundertfachen Wert (vgl. Anm. S. 8). Trägt man danach von S aus das Stück $SF = 10$ ab und errichtet in F ein Lot bis zum Schnittpunkt (G) mit der Verlängerung von SR, so stellt die Länge FG den Wert von $100\,i_1$ dar. Der Haltestrom i_1 für zwei Relais beträgt $12/100 = 0{,}12$ A. In derselben Weise lassen sich, wie in der Figur angegeben ist, die Werte i_2 (Strom für zwei Teilnehmer) $= 0{,}08$ A und $i_3 = 0{,}04$ A ermitteln; i_2 und i_3 zusammen ergeben i_1. Für sehr weit entfernte Sprechstellen erhält man:

$$i_1 = 0{,}102; \quad i_2 = 0{,}044; \quad i_3 = 0{,}057.$$

β) **Gesprächsverbindungen mit anderen Ortsämtern, abgehend.** Die Konstruktion ist in **Fig. 5** nach den vorher entwickelten

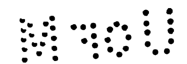
Grundsätzen ausgeführt. Der Widerstand OA ist doppelt so groß, als im vorhergehenden Muster, da nur ein Teilnehmer angeschlossen ist (s. Fig. 1 unter b, β). Der Widerstand AS beträgt

$$\frac{150 \times 450}{150 + 450} = 113 \text{ Ohm.}$$

RT ist $= 75$ Ohm. Das Verhältnis der auf den Rechtecksseiten AB und SC oben und unten abzuschneidenden Stücke BR und SE ist deshalb 75 : 113, entsprechend dem Spannungsabfall des Stromes i_2 in den beiden verschiedenen Widerständen. Der Punkt D wird daher in der Weise gefunden, daß auf BA von B ab der Wert 75 und auf SC von S ab der Wert 113 in einer beliebigen Einheit aufgetragen und die Verbindungslinie zwischen den beiden Endpunkten gezogen wird. Ihr Schnittpunkt mit der Diagonale BS ist der Punkt D. Alle durch ihn hindurchgehenden Linien schneiden von den beiden Rechtecksseiten Stücke ab, die sich wie 75 : 113 verhalten. Im übrigen erfolgt die Konstruktion ebenso wie in Fig. 4. Es beträgt:
der Relaishaltestrom i_1 0,072 bis 0,079 A und
der Teilnehmerstrom i_2 0,022 bis 0,04 A.

Fig. 6.

γ) Gesprächsverbindungen mit anderen Ortsämtern, ankommend (s. Fig. 1 unter b, γ). Der Widerstand AS beträgt 150 Ohm. Daher ist das Verhältnis 75 : 150 der Ermittelung des Punktes D zugrunde zu legen. Nach der **Fig. 6** ist der Relaishaltestrom $i_1 = 0{,}06$ bis 0,066 A und der Teilnehmerstrom $i_2 = 0{,}02$ bis 0,037 A.



3. Verkehrs-Statistik.

Die Batterieanlage wird zweckmäßig so bemessen, daß sie auf etwa zehn Jahre hinaus den Strombedarf eines verkehrsreichen Tages decken kann. Man muß also eine Statistik des Sprechverkehrs für einen verkehrsreichen Tag aufstellen und die spätere Verkehrszunahme schätzungsweise ermitteln.

In dem nachfolgenden Muster ist die Verkehrszunahme vom Jahre 1907 ab zunächst bis zum Jahre 1909 berechnet worden, weil nach dem Fortfall der optischen Besetztanzeige-Einrichtung für Verbindungsleitungen im Jahre 1909 eine wesentliche Verminderung des Stromverbrauchs eintreten muß, und dann ist die Verkehrszunahme noch für zehn Jahre bis 1919 abgeschätzt worden. Als Grundlage für die Statistik dient die Zunahme der Anschlüsse, nach der die Zunahme der Gespräche und der Amtsmikrophone beurteilt werden kann.

Verkehrs-Statistik.

Zeit	Anzahl der									
	Hauptanschlüsse P = Pauschgebühr G = Grundgebühr	vom Amte ausgehenden				von anderen Ortsämtern ankommenden		Amtsmikrophone für		
		Gespräche			vergeblichen Anrufe					
		nach dem eigenen Amte	nach anderen Ortsämtern	Zusammen		Gespräche	vergeblichen Anrufe	Teilnehmerleitungen	Verbindungsleitungen	Vorschaltplätze
1907	P 6 000	19 000	74 000							
	G 3 000	1 000	6 000							
	Zus. 9 000	20 000	80 000	100 000	5 000	75 000	9 000			
1909	P 7 000	23 500	87 000					70		
	G 4 000	1 500	8 000					20		
	Zus. 11 000	25 000	95 000	120 000	7 000	100 000	13 000	90	46	4
				127 000		113 000			140	
1919	P 12 000	37 000	144 000					160		
	G 8 000	3 000	16 000					50		
	Zus. 20 000	40 000	160 000	200 000	10 000	200 000	30 000	210	84	6
				210 000		230 000			800	

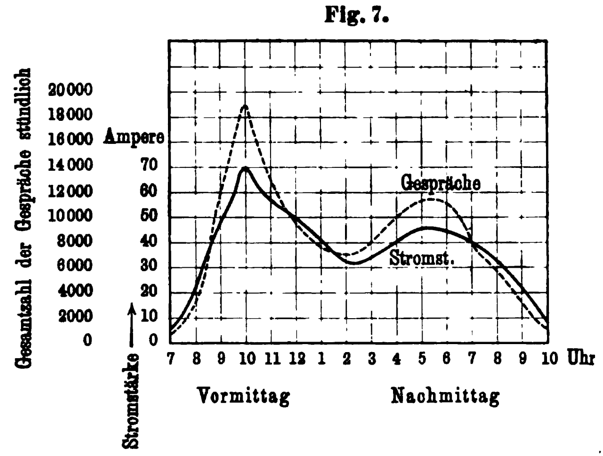
4. Strombedarfsberechnung.

Durch Vervielfachung der Einzelstromstärken mit der Anzahl der täglichen Gespräche usw. und ihrer Zeitdauer ergibt sich der Gesamtstromverbrauch eines Tages. In der Strombedarfsberechnung I (auf der ersten Ausschlagtafel am Ende des Buches) sind in Spalte 1 die Stromkreise in derselben Reihenfolge wie in der Schaltungszeichnung (Fig. 1) aufgeführt. In Spalte 2 sind die Schlußformeln und Werte der Stromstärken zusammengestellt, und zwar zuerst für die Ströme i_2, die durch die obere Batteriehälfte (s Fig. 2

a. S. 5), und dann für die Ströme i_1, die durch die geerdete Batteriehälfte fließen. Die Spalten 3 bis 5 enthalten die Stromverbrauchsberechnung für das Jahr 1909 und die Spalten 6 bis 8 die Berechnung für das Jahr 1919. Die angesetzte Dauer der Gespräche, Schlußzeichen usw. ist in den Bemerkungen angegeben. Sie ist in Stunden aufgeführt, z. B. drei Minuten $= {}^3/_{60}$ Stunden oder sechs Sekunden $= {}^6/_{3600}$ Stunden, damit der Wert des Stromverbrauchs in AS erhalten wird. Die Beträge sind auf die Spalten 4 und 7 oder 5 und 8 verteilt, je nachdem sie eine Belastung der oberen oder der unteren Batteriehälfte darstellen. Ströme, die beide Hälften durchfließen, erscheinen in beiden Spalten.

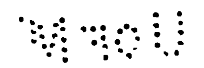
Die Spalten 9 bis 14 enthalten für die Jahre 1909 und 1919 eine Berechnung der höchsten Belastung der Hauptleitungen, deren Querschnitt danach zu bemessen ist. Die Zahl der höchstens gleichzeitig im Betriebe befindlichen Stromkreise ist in jedem Falle so ermittelt, daß für einen Platz nach Erfahrungssätzen eine reichlich bemessene durchschnittliche Höchstzahl angenommen und mit der Zahl der Plätze vervielfacht wurde.

Fig. 7.



Die optische Besetztanzeige-Einrichtung verbraucht vom Jahre 1909 ab keinen Strom mehr. Daher nimmt mit diesem Zeitpunkt der Stromverbrauch um annähernd die Hälfte ab. Bei der Bemessung der Batterie muß daher der Bedarf des Jahres 1909 zugrunde gelegt werden.

In **Fig. 7** ist die Verteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Tagesstunden durch eine Schaulinie ersichtlich gemacht. Sie stellt den Strom der stärker belasteten Batteriehälfte (ohne optische Besetztanzeige) für ein Fernsprechamt der Reichs-Telegraphen-Verwaltung dar. Eine zweite Linie veranschaulicht die auf eine Stunde entfallende Zahl aller Gespräche. Entsprechend den Verkehrsverhältnissen zeigt die Gesprächslinie vormittags und nachmittags je ein Maximum und während der Mittagsstunde ein Minimum. Die Gesamtzahl aller Gespräche beträgt am ganzen Tage 130 000, der gesamte Stromverbrauch 645 AS in der geerdeten Batteriehälfte und 505 in der oberen Hälfte, mithin im Durchschnitt 575 AS. Auf ein Gespräch entfallen danach $575/130\,000 = 0{,}0044$ AS. Während die Stromlinie im allgemeinen denselben Verlauf hat wie die Gesprächslinie, liegt sie in den Stunden mit schwachem Verkehr höher. Diese Erscheinung rührt daher, daß dann im Verhältnis mehr Amtsmikrophone im Betriebe sind und die Gespräche länger dauern.



II. Zentralbatterie-System Siemens & Halske mit ungeteilter Batterie.

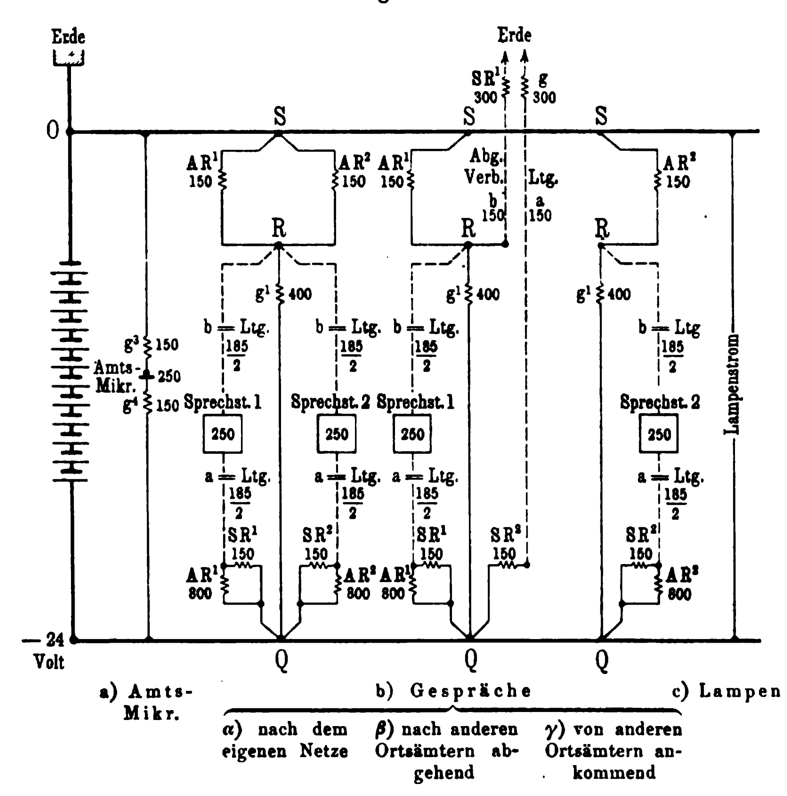
1. Berechnung der Stromstärken.

Das System der Firma Siemens & Halske mit ungeteilter Zentralbatterie von 24 V weicht von dem vorher besprochenen darin ab, daß

die Batteriezuführung zur *b*-Ader der Schnurpaare unter Einschaltung einer Drosselspule von 400 Ohm an 24 V gelegt ist, und daß

das Schlußzeichenrelais an Teilnehmerplätzen 150 Ohm Widerstand hat.

Fig. 8.



Die Stromkreise sind in **Fig. 8** schematisch dargestellt. Die Berechnung der Stromstärken soll hier nach dem Ohmschen Gesetz durchgeführt werden.

a) Amtsmikrophon- und Lampenstrom. Der Amtsmikrophon- und der Lampenstrom haben dieselbe Stärke, wie bei dem System mit geteilter Batterie.

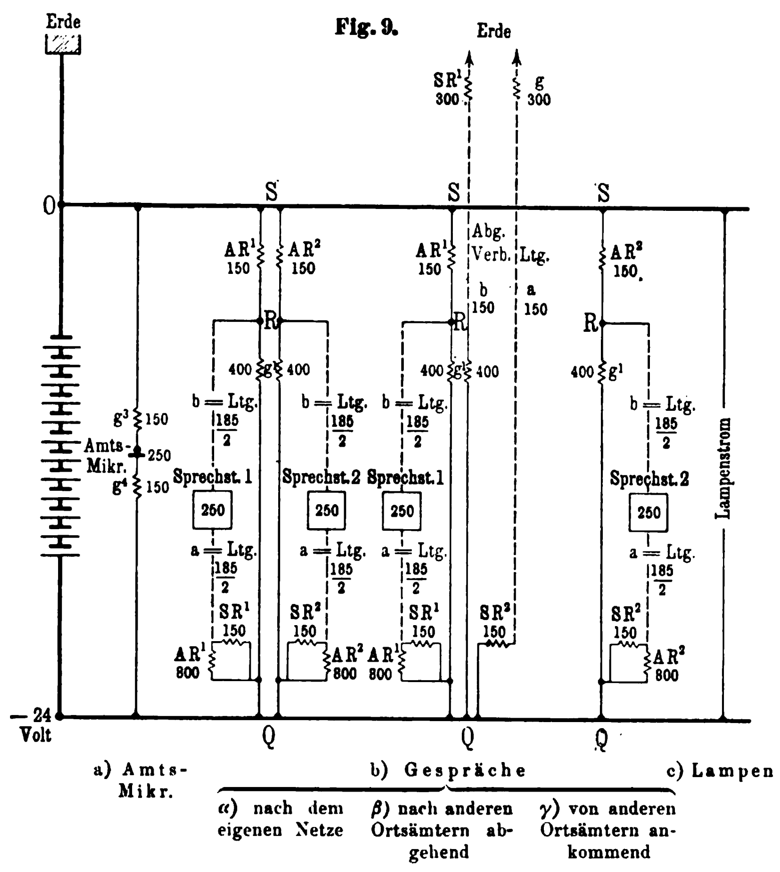
b) Teilnehmer- und Zeichenstrom für ältere Einrichtungen.

α) Gespräche zwischen Teilnehmern desselben Amts (s. Fig. 8, unter b, *α*). Von *Q* nach *R* führen drei Stromwege, und zwar über beide Teilnehmerleitungen und über die 400-ohmige Drosselspule g^1. Der Widerstand eines Teilnehmerzweiges beträgt bei 185 Ohm Leitungswiderstand:

$$\frac{800 \times 150}{800 + 150} + \frac{185}{2} + 250 + \frac{185}{2} = 560 \text{ Ohm},$$

mithin für beide Teilnehmerleitungen zusammen 280 Ohm und kombiniert mit 400: $\frac{400 \times 280}{400 + 280} = 165$ Ohm. Dazu für die Strecke RS 150/2 ergibt den Widerstand auf 240 Ohm und die Stromstärke auf 24/240 = 0,1 A.

Fig. 9.



a) Amts-Mikr.

b) Gespräche

α) nach dem eigenen Netze

β) nach anderen Ortsämtern abgehend

γ) von anderen Ortsämtern ankommend

c) Lampen

β) Gespräche mit anderen Ämtern, abgehend (s. Fig. 8, unter b, β). Der Widerstand QR ist $\frac{560 \times 400}{560 + 400} = 233$ Ohm, der Widerstand RS ist $\frac{150 \times 450}{150 + 450} = 113$ Ohm, zusammen rund 350 Ohm, also beträgt die Stromstärke 24/350 = 0,07 A.

In der a-Ader der Verbindungsleitung fließen $\frac{24}{150 + 150 + 300} = 0{,}04$ A.

γ) Gespräche mit anderen Ämtern, ankommend (s. Fig. 8, unter b, γ).

$$\text{Stromstärke } \frac{24}{\frac{560 \times 400}{560 + 400} + 150} = 0{,}062 \text{ A}.$$

c) Abweichungen bei neueren Einrichtungen. In derselben Weise wie bei dem System mit geteilter Batterie werden bei Erweiterungen die beiden Teilnehmerkreise auch hier durch einen Kondensator voneinander getrennt. Die veränderten Stromwege zeigt **Fig. 9.** Der Teilnehmer- und Relaisstromkreis hat bei allen Arten von Gesprächsverbindungen die gleiche Zusammensetzung. Die Stromstärke darin beträgt:

$$\frac{24}{\frac{560 \times 400}{560 + 400} + 150} = 0{,}062 \text{ A.}$$

Dieser Betrag ist bei Gesprächen zwischen zwei Teilnehmern desselben Amts zu verdoppeln und bei Gesprächen nach anderen Ämtern um die in der Verbindungsleitung herrschenden Stromstärken zu erhöhen. Es fließen

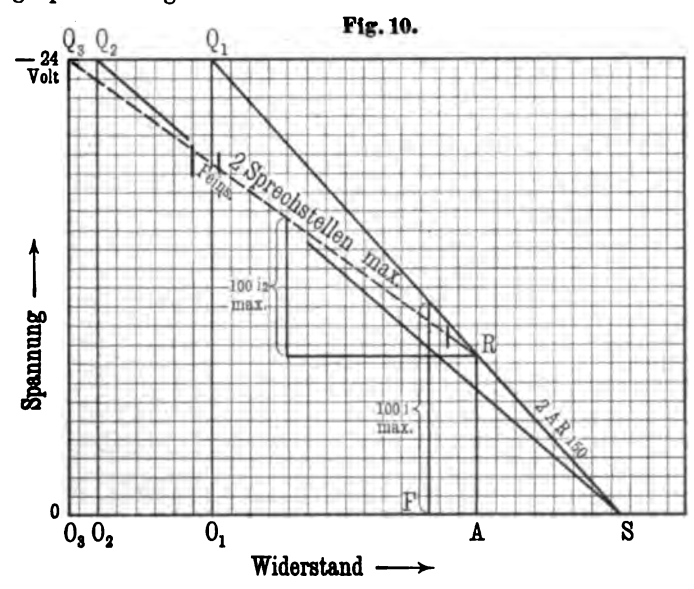
$$\text{in der } a\text{-Leitung } \frac{24}{150 + 150 + 300} = 0{,}04 \text{ A,}$$

$$\text{in der } b\text{-Leitung } \frac{24}{400 + 150 + 300} = 0{,}03 \text{ A.}$$

2. Graphische Darstellung der Spannungs- und Stromverhältnisse für Gesprächsverbindungen.

Um eine Vergleichung des Strom- und Spannungsverlaufs bei den Systemen mit geteilter und ungeteilter Batterie zu ermöglichen, ist der Stromverlauf graphisch dargestellt

Fig. 10.



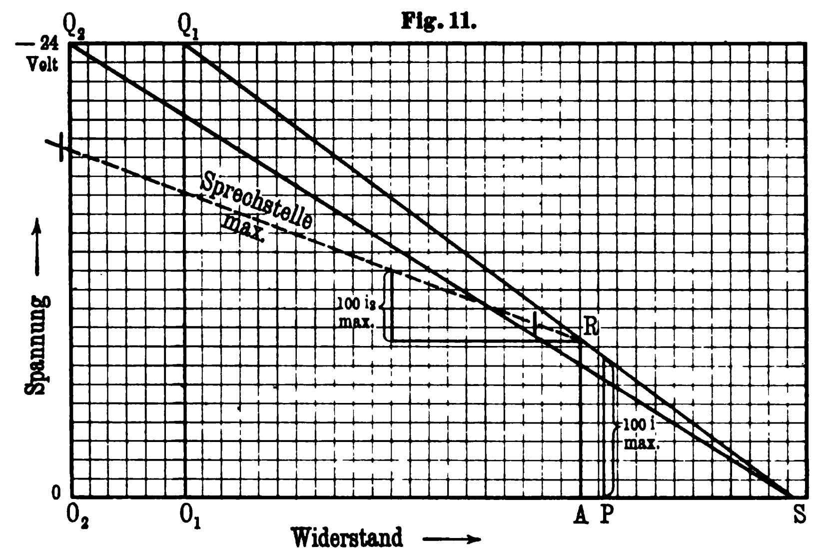
α) für Gespräche zwischen Teilnehmern desselben Amts **(Fig. 10)**,

β) für abgehende Gespräche nach anderen Ämtern **(Fig. 11)** und

γ) für ankommende Gespräche von anderen Ämtern **(Fig. 12)**.

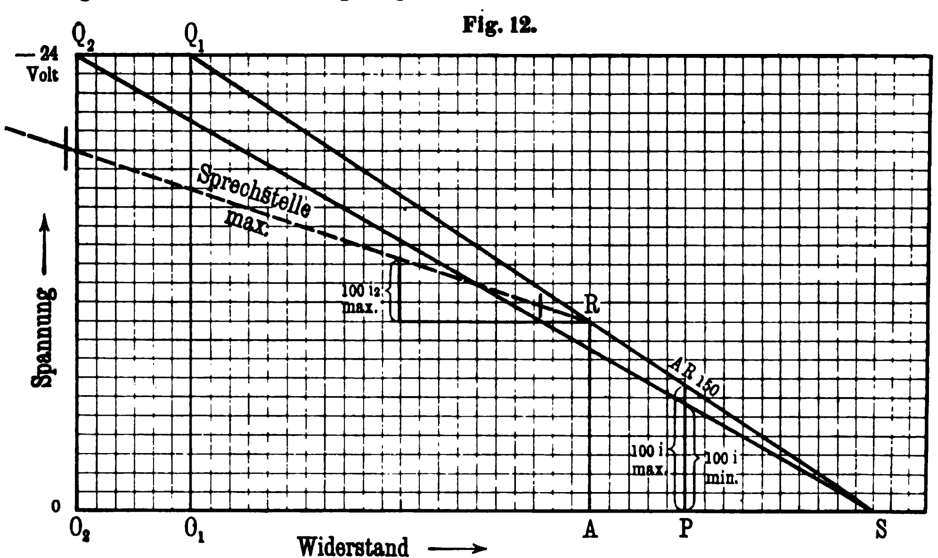
Es sind in den Abbildungen die Verhältnisse für dicht beim Amte gelegene und für 5 km davon entfernt liegende Sprechstellen dargestellt, so daß daraus die oberen und die unteren Grenzen der Spannungs- und Stromwerte ersehen werden können.

Fig. 11.



Vom Punkte S ab ist zuerst der Widerstand der zwischen R und Erde liegenden Relais usw. abgetragen $=$ SA. AO_1 ist der Widerstand der

Fig. 12.



Strecke RQ für nahegelegene Sprechstellen und AO_2 der Widerstand für 5 km vom Amt entfernte Anschlüsse. Die in O_1 und O_2 errichteten Lote O_1Q_1 und O_2Q_2 entsprechen der Spannung von 24 V. Zieht man die Linien Q_1S und Q_2S, so ergibt ihr Schnittpunkt mit dem in A errichteten Lote den

Punkt R; AR stellt die an der Klinkenhülse herrschende Spannung (6,5 bis 10 V) dar. Trägt man die Strecke $SP\,(SF) = 10$ ab und errichtet in $P(F)$ ein Lot bis zum Schnittpunkt mit den Linien $Q_1 S$ und $Q_2 S$, so erhält man den hundertfachen Betrag der Stromstärke.

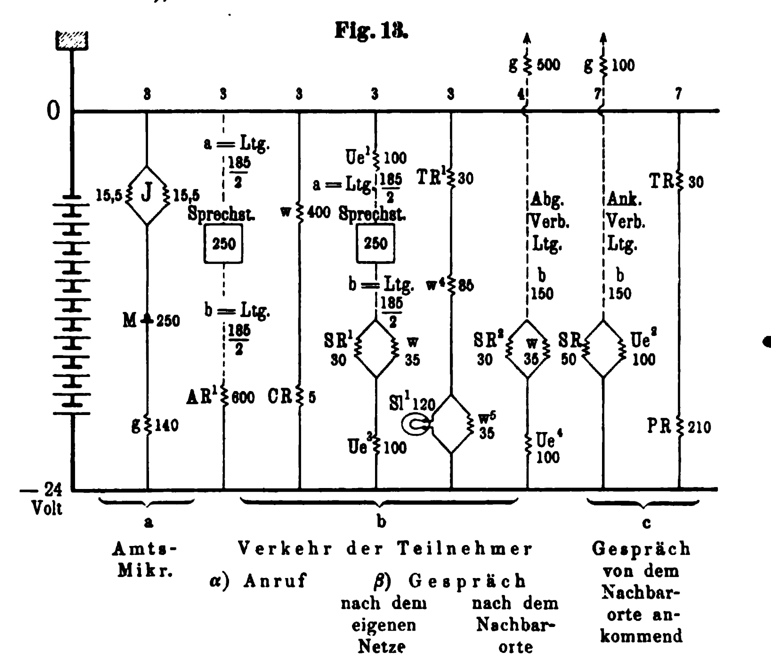
Soll der in den Teilnehmerleitungen fließende Strom, der bei dem System mit geteilter Batterie (s. S. 5) i_2 genannt war, ermittelt werden, so trägt man den zugehörigen Widerstand $= A\,O_3$ ab, errichtet das Lot $O_3\,Q_3$, zieht $Q_3 R$, dann von R eine Parallele zu $A\,O_1$ und errichtet in deren Endpunkt ein Lot.

Fig. 12 kann zugleich als Darstellung für die Teilnehmerstromkreise der abgeänderten Art mit Kondensator in der b-Ader (s. Fig. 9) dienen, da hier dieselben Widerstandsverhältnisse vorliegen.

3. Strombedarfsberechnung.

Die Berechnung II des Strombedarfs (auf der zweiten Ausschlagtafel am Ende des Buches), die nach demselben Muster und mit denselben Verkehrs-

Fig. 13.



ziffern wie die Berechnung I zu Seite 11 durchgeführt ist, zeigt, daß der tägliche Stromverbrauch in beiden Fällen annähernd derselbe ist.

III. Zentralbatterie-System der Western Electric Co.

Für das Zentralbatterie-System der Western Electric Co., das in Deutschland von der Firma Zwietusch & Co. ausgeführt wird, enthält **Fig. 13**[1])

[1]) Vgl. Archiv f. P. u. T. 1906, S. 8 u. 11, Fig. 3, 4 u. 7. Auf diese Figuren weisen die kleinen Zahlen hin, die in der Fig. 13 oben zu sehen sind.

eine Darstellung der in Betracht kommenden Stromkreise. Es ist ein Nachbarortsverkehr mit dem unter IV, 1 a. S. 19 behandelten System angenommen [1]).

Die nach dem Ohmschen Gesetz ermittelten Stromstärken enthält Spalte 2 der Strombedarfsberechnung III (auf der dritten Ausschlagtafel am Ende

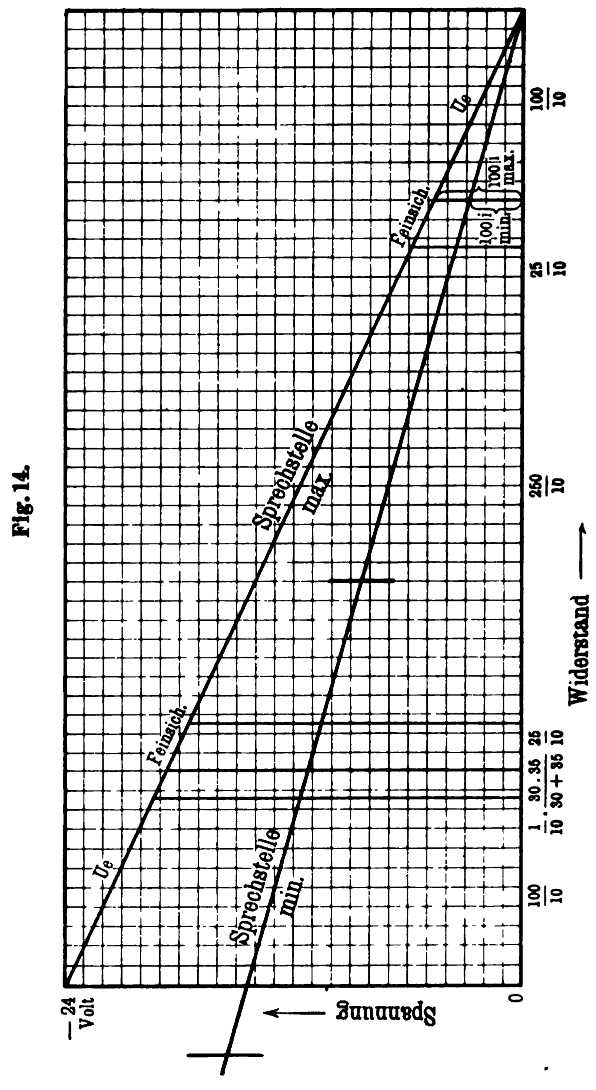


Fig. 14.

des Buches); hier sind im übrigen dieselben Ziffern zugrunde gelegt wie den beiden vorhergehenden Mustern. Aus den Schlußsummen läßt sich ersehen, daß in diesem Falle der Stromverbrauch mehr als das Dreifache beträgt.

Eine Darstellung des Stromverlaufs in einer Teilnehmerleitung bei Gesprächsverbindungen enthält **Fig. 14.**

---

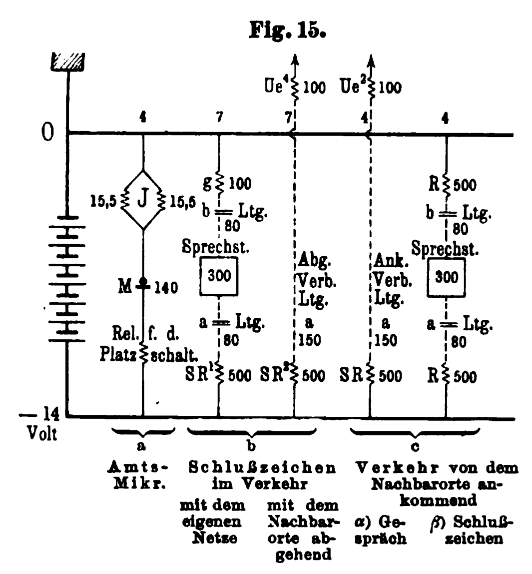
[1]) Vgl. Archiv f. P. und T. 1906, S. 9 u. 11, Fig. 4 u. 7. Auf diese Figuren weisen die kleinen Zahlen hin, die in der Fig. 15 oben zu sehen sind.

IV. Systeme mit Lokalbatteriebetrieb und selbsttätigen Schlufszeichen.

1. Amerikanisches Muster mit Signalglühlampen.

In kleineren Orten werden statt der Z. B.-Systeme meist solche mit Lokalbatteriebetrieb und doppelseitigem Schlußzeichen benutzt. Ein nach amerikanischem Muster hergestelltes System mit Signalglühlampen veranschaulicht **Fig. 15** [1]). Das Amt ist im Nachbarortsverkehr gedacht mit dem unter III besprochenen. Da die Teilnehmer nicht vom Amte aus mit Strom versorgt

Fig. 15.



werden, ist der Stromverbrauch bedeutend geringer als bei Z. B.-Einrichtungen. Bei 20000 Gesprächen an Teilnehmerplätzen und 3300 in ankommenden Verbindungsleitungen ergibt sich der in der Berechnung IV (auf der dritten Ausschlagtafel) ermittelte Stromverbrauch. Der Batteriespannung von 14 V entsprechend werden 14-voltige Glühlampen mit einer Stromaufnahme von 0,12 A benutzt.

2. Modell 02 der Deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung [2]).

Bei dem deutschen Modell 1902 treten an die Stelle der Signallampen Galvanoskope, die bedeutend weniger Strom verbrauchen.

a) Strom der allgemeinen Schlußzeichenbatterie.

α) Bei Verbindungen innerhalb des Amts besteht die in **Fig. 16** angegebene Schaltung. Die Stärke des bei angehängtem Hörer auftretenden Schlußzeichenstromes beträgt für einen Teilnehmer bei 6 V Batteriespannung:

$$\frac{6}{250 + 200 + 2 \times 80 + 300 + 250} = 0{,}005 \text{ A}$$

oder

$$\frac{1}{2} \times \frac{6}{(500 + 2 \times 80 + 300) \times \frac{1}{2} + 100} = 0{,}005 \text{ A.}$$

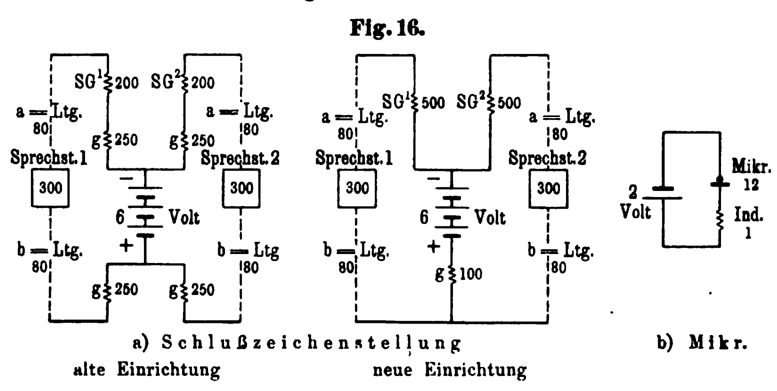
[1]) Vgl. Archiv f. P. und T. 1906, S. 9 u. 11, Fig. 4 u. 7. — [2]) Vgl. Archiv f. P. und T. 1906, S. 507, Fig. 6, 3.

Bei 10000 Gesprächen und einer Gesamtdauer des Schlußzeichens für den Angerufenen von 20 Sekunden und für den Rufenden von 10 Sekunden würde der tägliche Stromverbrauch betragen:

$$0{,}005 \times 10000 \times 30/3600 = 0{,}4 \text{ AS.}$$

β) Bei ankommenden Verbindungen von Orts- oder Nachbarortsämtern wird jetzt in der Regel statt des Schlußzeichengalvanoskops in die Leitung des zweiten Teilnehmers ein Relais eingebaut, welches das Schlußzeichen nach dem ersten Amte weitergibt. Seine Stromstärke ist ebenfalls 0,005 A.

Fig. 16.



a) Schlußzeichenstellung b) Mikr.
alte Einrichtung neue Einrichtung

Das in der ankommenden Leitung liegende Schlußzeichen wird durch den Strom des fremden Amts betätigt. Bei neueren Einrichtungen geschieht dies vielfach mittelbar durch ein Relais. Das Galvanoskop verbraucht dann Strom aus der eigenen Schlußzeichenbatterie im Betrage von 6/500 = rund 0,01 A.

Bei 4000 ankommenden Verbindungen beträgt danach der Stromverbrauch:

$$4000\,(20/3600 \times 0{,}005 + 10/3600 \times 0{,}01) = 0{,}2 \text{ AS.}$$

γ) Bedeutend größer ist der Stromverbrauch für abgehende Verbindungen nach anderen Orts- oder Nachbarortsämtern. Haben diese Z. B.-Betrieb, so fließt der Schlußzeichenstrom des ersten Amts über die *a*-Leitung und ein 600-ohmiges Relais beim zweiten Amt zur Erde. Seine Stärke beträgt $\dfrac{6}{250 + 200 + 100 + 600} = 0{,}005$ A. Dieser Strom fließt während der Dauer des Gespächs. Für 4000 abgehende Gespräche werden dabei verbraucht:

$$0{,}005 \times 4000 \times 3/60 = 1 \text{ AS}$$

und für das Schlußzeichen des ersten Teilnehmers:

$$0{,}005 \times 4000 \times 10/3600 = 0{,}06 \text{ AS.}$$

Der Gesamtverbrauch der sechsvoltigen Schlußzeichenbatterie beträgt mithin:

$$0{,}4 + 0{,}2 + 1 + 0{,}06 = 1{,}7 \text{ AS.}$$

Die höchste Stromstärke, mit der die Batterie beansprucht wird, beläuft sich, wenn gleichzeitig bis zu 40 Teilnehmer-Schlußzeichen betätigt werden und 40 abgehende Verbindungen bestehen können, auf:

$$(40 + 40) \times 0{,}005 = 0{,}4 \text{ A.}$$

b) Strom der besonderen Batterie für abgehende Verbindungsleitungen. Außer der allgemeinen Schlußzeichenbatterie ist noch eine besondere Batterie von 6 V vorhanden, die während der Ruhe mit dem Pluspol an die abgehenden Verbindungsleitungen angeschaltet ist. Sie entsendet bei den meisten Einrichtungen über die *a*-Leitung und das Anrufrelais von 200 Ohm einen Dauerstrom, dessen Stärke sich auf etwa 0,015 A berechnet. Da aber in der Regel die Batteriespannung wegen des Batteriewiderstandes geringer ist als 6 V, hat man nur die Hälfte gleich 0,0075 A anzusetzen. Bei 50 abgehenden Leitungen mit je fünf Ruhestunden während des Tages entsteht ein Stromverbrauch von $0{,}0075 \times 50 \times 5 =$ rund 1,9 AS.

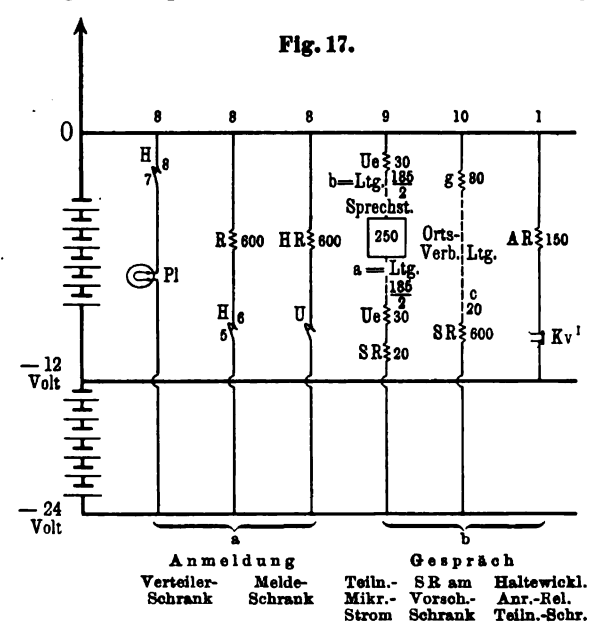
Die höchste Stromstärke beträgt $0{,}0075 \times 50 = 0{,}37$ A.

c) Amtsmikrophonstrom. Die Amtsmikrophone werden bei kleinen Anstalten in der Regel mit 2 V Spannung gespeist (s. Fig. 16); ihre Stromstärke soll möglichst 0,15 A betragen. Sind für den Orts- und Fernverkehr 13 Mikrophone mit einer täglichen Benutzungsdauer von durchschnittlich zehn Stunden vorhanden, so beträgt ihr Stromverbrauch $13 \times 10 \times 0{,}15$ = rund 20 AS und ihre Gesamtstromstärke $13 \times 0{,}15 =$ rund 2 A.

V. Fernverkehr.

a) Z. B.-Betrieb. Für ein Fernamt mit Z. B.-Betrieb sind die einzelnen Stromkreise in **Fig. 17** dargestellt. Die Strombedarfsberechnung V (auf der

Fig. 17.



dritten Ausschlagtafel) enthält die Einzelstromstärken und Angaben über den Gesamtverbrauch.

b) Lokalbatteriebetrieb mit selbsttätigen Schlußzeichen. Bei Anstalten ohne Z. B.-Betrieb werden Einrichtungen mit selbsttätigen Schluß-

zeichen benutzt [1]). Ihr Stromverbrauch ist unerheblich. Die Stromstärke beträgt bei 6 V Batteriespannung und 500 Ohm Schlußzeichenwiderstand etwa 0,006 A. Für 500 Ferngespräche entsteht ein Verbrauch von

$$0{,}006 \times 500 \times 6/3600 = 0{,}005 \text{ AS.}$$

Werden Schlußzeichenrelais und Signalglühlampen verwendet, so wird der Verbrauch um den Lampenstrom vermehrt. Für die gebräuchlichen Lampenarten kann man folgende Stromstärken annehmen:

Für	24	20	14	10 Volt Spannung
	0,08	0,1	0,12	0,14 A.

Für das angenommene Beispiel beträgt der Verbrauch 10-voltiger Lampen:

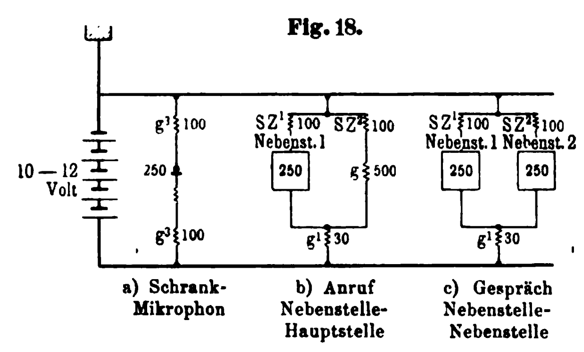
$$0{,}14 \times 500 \times 6/3600 = 0{,}12 \text{ AS.}$$

VI. Sprechstellen.

a) Z. B.-Speisung. Beim Z. B.-Betrieb werden die Teilnehmerstellen von der Vermittelungsanstalt aus mit Strom versorgt, wenn ihre Verbindung über das Amt führt. Für Gespräche zwischen zusammengehörigen Haupt- und Nebenstellen wird jedoch vielfach noch der Lokalbatteriebetrieb in der Weise angewendet, daß jede Stelle ihre eigene Mikrophonbatterie besitzt. Wegen dieser Schaltung müssen die Haupt- und Nebenstellen auch bei Gesprächen über das Amt von ihrer Lokalbatterie gespeist werden, während der Zentralstrom nutzlos durch den Hörer fließt. Bei der deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung werden auch Nebenstelleneinrichtungen für Z.B.-Betrieb verwendet.

α) Klappenschrank Z. B. 08. Für größere Hauptstellen kommt der Klappenschrank Z. B. 08 in Betracht, der für Gespräche zwischen den Nebenstellen mit einer Batterie von 10 bis 12 V ausgerüstet wird, während die Stellen bei Verbindungen über das Amt von dorther ihren Strom in der gewöhnlichen Weise erhalten. Die aus der Hauptstellenbatterie zu speisenden Stromkreise sind in **Fig. 18** veranschaulicht. Für 150 Nebenstellen mit 750 Gesprächen würde sich bei Vernachlässigung des Leitungswiderstandes der in der Strombedarfsberechnung VI (auf der dritten Ausschlagtafel) ermittelte Stromverbrauch ergeben.

Fig. 18.

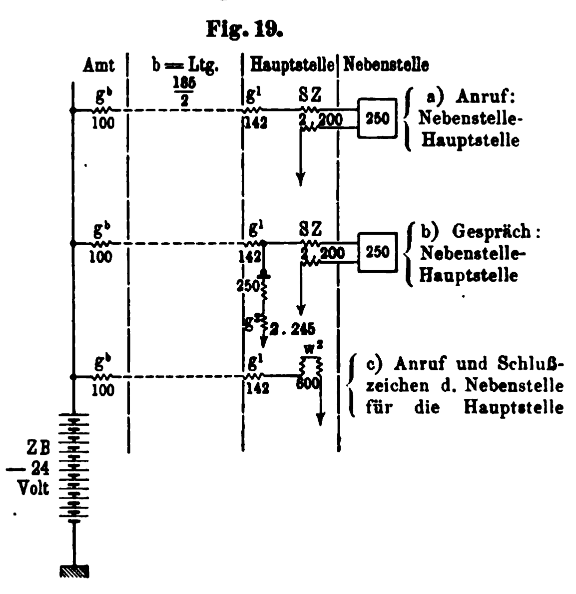


β) Zwischenstelleneinrichtung. Für Hauptstellen mit wenigen Nebenstellen werden Zwischenstellenumschalter benutzt, die eine Speisung aller Stellen vom Amte aus ermöglichen. Der Zentralstrom fließt den Sprechstellen bei Verbindungen über das Amt in der gewöhnlichen Stärke von rund 0,03 A zu, und zwar den Nebenstellen über die *a*-Leitung und der Hauptstelle

[1]) Archiv f. P. u. T. 1906, S. 510, Fig. 10.

zu 2/5 über die *a*-Leitung und zu 3/5 über die *b*-Leitung. Für den unmittelbaren Verkehr zwischen Haupt- und Nebenstellen erfolgt die Speisung über die *b*-Leitung. Die über *b* gespeisten Stromkreise sind in **Fig. 19** dargestellt. Für 4000 Leitungen mit 40000 unmittelbaren Gesprächen ist der Stromverbrauch in der Strombedarfsberechnung VII (auf der dritten Ausschlagtafel) veranschlagt.

Fig. 19.



Der Strombedarf von 104 AS muß zu dem sonstigen Verbrauch des Amts hinzugerechnet werden. Die höchste Stromstärke ist für die Bemessung der Batteriezuleitungen zu den besonderen Zwischenstelleneinrichtungen maßgebend. Der bei Amtsgesprächen den Hauptstellen über *b* zufließende Strom kann bei Berechnung der Stromstärke vernachlässigt werden.

b) Lokalbatterien. Die Mikrophonschaltung der Lokalbatterien bei Sprechstellen ist dieselbe wie bei Amtsmikrophonen (s. Fig. 16 a. S. 20). Eine Sprechstelle mit täglich zehn Gesprächen von drei Minuten Dauer verbraucht bei 0,15 A Stromstärke $0{,}15 \times 10 \times 3/60 = 0{,}075$ AS täglich und 27 AS jährlich.

Zweiter Abschnitt.

Stromquellen.

A. Primärelemente.

I. Allgemeines [1]).

1. Eigenschaften.

a) Übersicht. Wie im ersten Abschnitt gezeigt worden ist, bestehen bei den Telegraphen- und Fernsprechanstalten bedeutende Verschiedenheiten in der Größe und Art des Stromverbrauchs. Zur Deckung dieses Bedarfs hat man daher in jedem Falle solche Stromquellen auszuwählen, die vermöge ihrer Eigenschaften die Anforderungen des Betriebes am besten erfüllen können. Als Stromquellen lassen sich Primärelemente, Sekundärelemente (Sammler) und Dynamomaschinen benutzen. Bei der Beurteilung dieser Stromquellen muß man von ihrer elektromotorischen Kraft (EMK) und ihrem inneren Widerstande ausgehen; bei manchen Primärelementen ist auch die Polarisation von Bedeutung. Während der innere Widerstand der Sammler und Dynamos in der Regel so gering ist, daß er für den Betrieb unberücksichtigt bleiben kann, macht er sich bei den Primärelementen sehr oft störend bemerkbar. Die Verwendung der Primärelemente unterliegt daher in manchen Betrieben noch einer gewissen Einschränkung.

Die größte Bedeutung bei der Auswahl einer Stromquelle für bestimmte Betriebsverhältnisse hat der Kostenpunkt. Um einen Vergleich zwischen den in Betracht kommenden Stromquellen zu erleichtern, sind ihre Eigenschaften in der Übersicht der Betriebsverhältnisse und Kosten von Elementen zusammengestellt worden, die als vierte Ausschlagtafel am Ende des Buches zu finden ist. Die Zusammenstellung bezieht sich nicht auf Fernsprechanstalten mit Zentralbatteriebetrieb, sondern gilt nur für den Telegraphenbetrieb und den Fernsprechbetrieb mit Lokalbatterie. Für den Telegraphenbetrieb stellen die **Fig. 20** und **21** durch Schaulinien dar, in welcher Weise sich die Kosten mit der Größe des Strombedarfs bei den verschiedenen Stromquellen verändern.

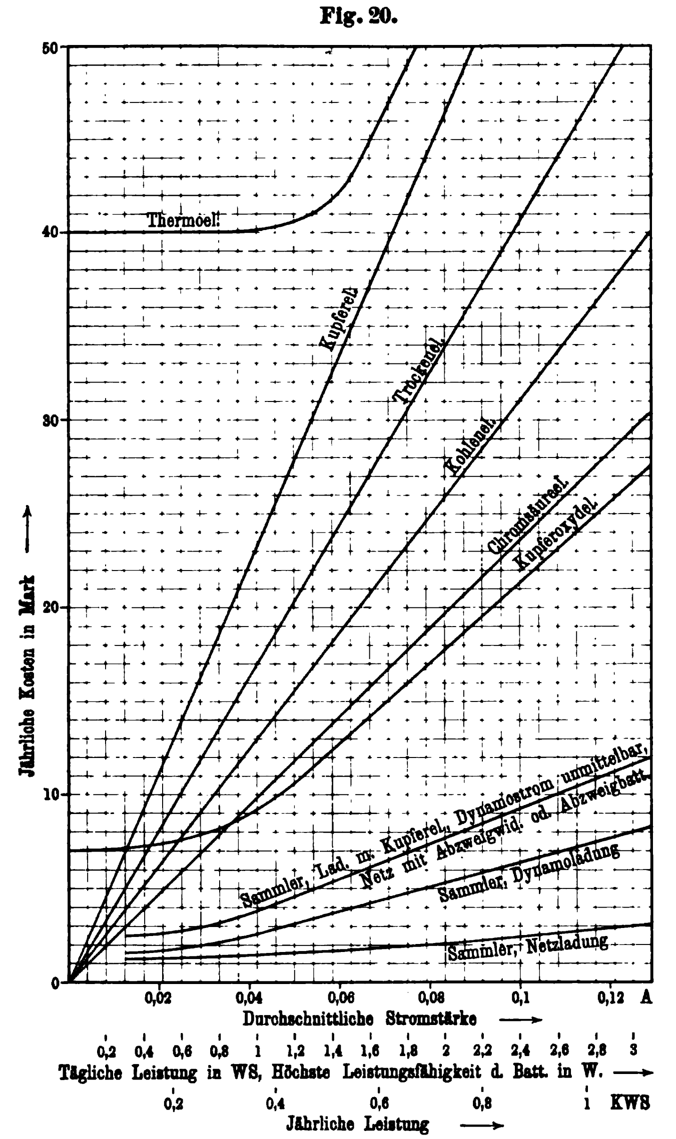
Von Primärelementen erscheinen in der Übersicht nur solche, die bereits im Telegraphen- oder Fernsprechbetriebe Verwendung gefunden haben oder dafür in Betracht kommen. Neben derartigen Primärelementen ist auch das

---

[1]) Wegen der Beschreibung der gebräuchlichen Primärelemente zu vgl. Karrass, Geschichte der Telegraphie, I. Teil, S. 62 ff.

Thermoelement aufgenommen, das zwar eine Energiequelle anderer Art ist, aber in seinen Eigenschaften große Ähnlichkeit mit den Primärelementen zeigt.

Fig. 20.

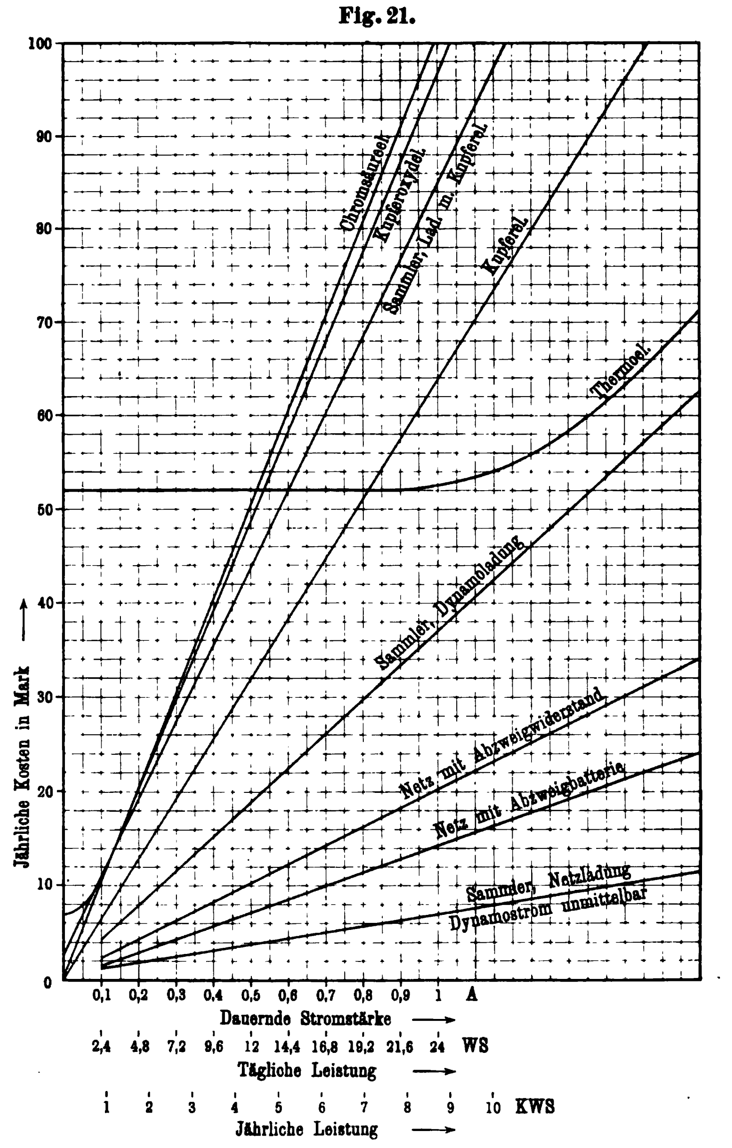


Im Arbeitsstrom-Telegraphenbetriebe für 1 V Klemmenspannung.

b) Chemische Vorgänge; Faradaysches Gesetz. Die in der Übersicht aufgeführten Primärelemente enthalten durchweg eine Zinkelektrode (Zn), die den negativen Pol des Elements bildet. Weil im geschlossenen Stromkreise an dieser Stelle der Strom in das Element eintritt, nennt man die Zinkelektrode Anode. Den positiven Pol oder die Stromaustrittsstelle,

die Kathode, bilden Kupfer (Cu), Kohle (C) oder Kupferoxyd (CuO). Nach den positiven Elektroden haben die Elemente vielfach ihren Namen erhalten.

Fig. 21.



Im Ruhestrom-Telegraphenbetriebe für 1 V Klemmenspannung.

Die verwendeten Flüssigkeiten, Elektrolyte, sind Lösungen von Salzen oder anderen Verbindungen in Wasser.

Bei der Lösung zerfallen die Elektrolyte in gewisse Bestandteile, die man Ionen nennt, z. B. Kupfervitriol ($CuSO_4$) in Cu und SO_4, Zinkvitriol ($ZnSO_4$) in Zn und SO_4. Die Ionen haben nicht mehr die Eigenschaften der Körper, denen sie in ihrer chemischen Zusammensetzung gleichen. Besonders unter-

scheiden sie sich dadurch von diesen, daß sie eine elektrische Ladung besitzen, z. B. Cu und Zn eine positive, SO_4 eine negative Ladung.

Das in die Flüssigkeit tauchende metallische Zink hat ein starkes Bestreben, in Lösung zu gehen; es besitzt eine große Lösungstension. Dagegen ist die Lösungstension des Kupfers geringer. Taucht man z. B. Zink in Kupfervitriollösung, so verbindet es sich mit dem Teile SO_4 zu Zinkvitriol ($ZnSO_4$) und scheidet das Kupfer als metallischen Körper aus. In einem galvanischen Elemente ist daher das Zink bestrebt, seine Atome in Ionenform zu bringen unter Verdrängung der Ionen anderer Metalle. Die Ionen nehmen dabei eine positive Ladung mit und lassen die Zinkelektrode negativ geladen zurück.

Der Lösungstension einer Elektrode entgegen wirkt das Bestreben der Ionen, einen möglichst großen Raum einzunehmen. Man nennt dies den osmotischen Druck der Lösung. Während nun beim Zink die Lösungstension größer ist als der osmotische Druck seiner gelösten Ionen, so daß eine Auflösung erfolgen kann, ist dies bei den als Kathoden verwendeten Körpern umgekehrt. Z. B. ist der osmotische Druck einer Kupfervitriollösung größer als die Lösungstension des Kupfers. Infolgedessen haben die Kupferionen die Neigung, ihren Ionenzustand aufzugeben und unter Abgabe ihrer positiven Ladung in metallisches Kupfer überzugehen.

Wenn die Ladungen der Elektroden nicht abfließen können, kommt die Bewegung im Elemente bald zur Ruhe. Der Ladungszustand der Elektroden äußert sich nur in einem Potentialunterschiede, den man EMK nennt. Verbindet man aber z. B. bei einem Kupferelemente die beiden Pole durch einen Draht, so werden an der Kupferelektrode dauernd Cu-Ionen unter Abgabe ihrer positiven Ladung abgeschieden. Die frei werdenden SO_4-Ionen können dann an der Anode die Lösungstension des Zinks befriedigen, indem sie zugleich eine positive Ladung mitnehmen. So werden elektrische Ladungen durch die Ionen von der Anode zur Kathode befördert und fließen durch den Schließungsdraht zurück Die Ionen wandern dabei teils zur Kathode und teils zur Anode. Danach nennt man sie Kationen oder Anionen.

Nach dem Gesetze von Faraday nimmt man an, daß jedes einwertige Ion mit einer bestimmten, gleichen Elektrizitätsmenge und jedes mehrwertige Ion mit einem entsprechenden Vielfachen dieser Menge verbunden ist. Es sind auf ein Gramm-Äquivalent eines einwertigen Ions, z. B. des Wasserstoffs (H), 96 540 Coulomb[1]) und auf ein Gramm-Äquivalent eines zweiwertigen Ions, z. B. des Kupfers, 2 × 96 540 Coulomb zu rechnen. Einer AS entspricht danach, da das Atomgewicht des Wasserstoffs = 1 ist, eine Wasserstoffabscheidung von $\frac{3600}{96\,540} \times 1 = 0{,}0373$ g.

In Spalte 2 der erwähnten Übersicht sind in den chemischen Formeln der Elektrolyte die Kationen durch Punkte und die Anionen durch Striche gekennzeichnet. Die Zahl der Punkte oder Striche gibt die Wertigkeit an. Die Zeichen stellen gewissermaßen die den Ionen anhaftenden positiven oder negativen Ladungen dar. Nach diesen Angaben läßt sich daher die durch einen bestimmten Strom abgeschiedene Menge eines Körpers berechnen, in-

[1]) 1 Coulomb ist diejenige Strommenge, die einem Strome von 1 Ampere Stärke und 1 Sekunde Dauer entspricht, mithin gleich 1 Ampere-Sekunde; 1 Ampere-Stunde ist = 60 × 60 = 3600 Amp.-Sek. = 3600 Coulomb.

dem sein Atomgewicht bei einwertigen Ionen mit 0,0373 und bei zweiwertigen mit $1/2 \times 0{,}0373$ vervielfacht wird. Die Berechnung zum Zwecke der Kostenermittelung wird später unter „II. Einzelne Elemente" ausgeführt werden.

c) **Polarisation.** Die zu den Elektroden wandernden Ionen werden dort meist nicht in ihrer ursprünglichen Zusammensetzung abgeschieden, sondern gehen mit dem Wasser und anderen Bestandteilen der Lösung oft neue Verbindungen ein. Infolgedessen haben die meisten Elemente die Neigung, an der Kathode Wasserstoff abzuscheiden. Dort bewirkt nun die Wasserstoffablagerung einerseits eine Erhöhung des inneren Widerstandes und andererseits eine Herabsetzung der Zellenspannung, da der Wasserstoff sich der Flüssigkeit gegenüber positiv verhält, während die Kathode negativ ist. Diese Erscheinung nennt man Polarisation. Um ein Element „konstant" und für den Betrieb brauchbar zu machen, muß man dafür sorgen, daß der Wasserstoff an der Kathode unschädlich gemacht wird. Das geschieht durch Stoffe, die man Depolarisatoren nennt. Sie geben leicht Sauerstoff (O) ab und bilden mit dem entstehenden Wasserstoff (H) Wasser (H_2O). Am kräftigsten wirken die in Wasser gelösten Depolarisatoren, z. B. Kupfervitriol und Chromsäure. Auch das Kupferoxyd ist trotz seiner festen Form ein guter Depolarisator. Dagegen wirkt der Braunstein (Mangansuperoxyd, MnO_2) wegen seiner festen Form sehr schwach. Er ist nicht imstande, allen entstehenden Wasserstoff, namentlich bei größerer Stromstärke, mit genügender Schnelligkeit zu binden. Infolgedessen geht die Stromstärke bei längerer Benutzung der Kohlen- und der Trockenelemente stark zurück. Unterbricht man jedoch den Stromkreis, so erholen sich die Zellen sehr schnell. Diese Erholung ist darauf zurückzuführen, daß der Braunstein inzwischen Zeit gefunden hat, den abgeschiedenen Wasserstoff zu binden. Man kann daher die Kohlen- und die Trockenelemente nur für solche Betriebsarten verwenden, die ihnen Gelegenheit zur Erholung geben, wie die Speisung von Sprechstellen-Mikrophonen, der Weckbetrieb und andere Arten von Arbeitsstrombetrieben. Um die beiden Arten von Elementen mit den übrigen vergleichen zu können, ist für ihre Polarisation bei einem Betriebe mit Unterbrechungen in Spalte 9 der Übersicht ein Wert angesetzt worden. Da die Polarisation annähernd in derselben Weise wirkt wie der innere Widerstand, ist ihr Wert bei den späteren Berechnungen dem inneren Widerstande zugezählt worden. Auch bei den übrigen Elementen kann man im Betriebe eine Polarisation beobachten, die sich jedoch wegen der Höhe des inneren Widerstandes nur wenig bemerklich macht. Es sind deshalb auch dort nach den Erfahrungen des Betriebes bestimmte Werte angesetzt, die aber nur für dauernden oder längeren Stromschluß gelten.

d) **Prüfung von Elementen.** Um die Brauchbarkeit eines Elements für den Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb festzustellen, muß man es unter den Bedingungen des Betriebes erproben. Während ein konstantes Element dauernd in einen passenden Stromkreis eingeschaltet werden kann, ist dies bei den Kohlen- und den Trockenelementen nicht möglich. Man kann sie aber im Betriebe einer Sprechstelle prüfen, und zwar möglichst in Hintereinanderschaltung mit einer anderen, als Maßstab dienenden Zelle. Da jedoch der Verkehr einer Sprechstelle nicht gleichmäßig genug ist, um eine Berechnung

der entnommenen Strommengen zu gestatten, wird für die Prüfung besser eine besondere Einrichtung benutzt [1]). Bei der Prüfung eines Elements müssen die EMK, der innere Widerstand, die Klemmenspannung und die Stromstärke durch regelmäßige Messungen ausreichend oft festgestellt werden. Für den Betrieb kommt es dabei weniger auf wissenschaftliche Genauigkeit des Meßverfahrens als auf Einfachheit der Messungen an.

e) Die **elektromotorische Kraft** (EMK) ermittelt man mit einem Spannungsmesser, dessen Widerstand jedoch so groß sein muß, daß der Meßstrom das Element nicht merklich belastet. Bei der Deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung wird für diesen Zweck ein Spannungsmesser [2]) mit 600 Ohm Widerstand benutzt, dessen Meßstrom von etwa 0,002 A in Betriebselementen noch keine erhebliche Änderung verursacht.

f) Innerer Widerstand. Zur Ermittelung des inneren Widerstandes dient die Wheatstonesche Brücke mit Wechselstrom und Fernhörer. Die vier Brückenzweige enthalten nach der **Fig. 22** das zu messende Element mit dem inneren Widerstande *Wi*, einen Vergleichswiderstand *R* von 3 Ohm, einen Widerstand $r_1 = 1{,}5$ Ohm mit dem Stück *a* des Meßdrahts und einen Widerstand r_2 von 1 Ohm mit dem Stück *b* des Meßdrahts. Wird der primäre Stromkreis des Induktionsapparats *J* geschlossen, so fließen in dem sekundären Kreise durch die Brücke Induktionsströme, die im Fernhörer *F* gehört werden können. Verschiebt man nun den Kontakt *C* so lange auf dem Meßdraht, bis der Ton im Hörer am schwächsten wird oder verstummt, so ist:

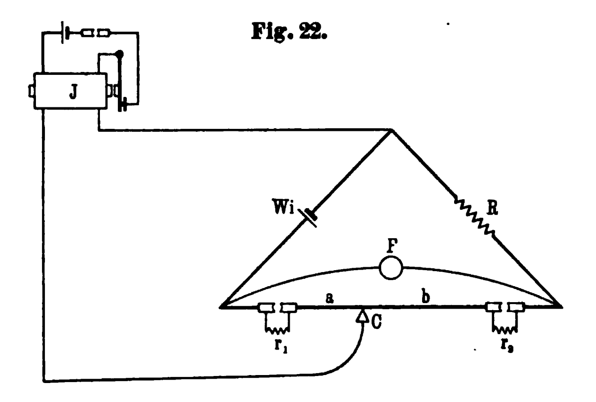


Fig. 22.

$$\frac{Wi}{R} = \frac{r_1 + a}{r_2 + b} \quad \text{und} \quad Wi = R\frac{r_1 + a}{r_2 + b}.$$

Beim Messen kleiner Widerstände muß r_1 durch Stöpseln ausgeschaltet werden, weil der Nullpunkt der Skala am linken Ende des Meßdrahts liegt. Beim Messen großer Widerstände wird dagegen r_2 gestöpselt. Dabei wird der Widerstand der Zuleitungen zum Element zu berücksichtigen sein.

g) Klemmenspannung. Im praktischen Betriebe kann man den inneren Widerstand eines konstanten oder inkonstanten Elements in der Weise ermitteln, daß man es, wie in **Fig. 23** angedeutet ist, durch einen bekannten Widerstand *Wa* schließt und dabei die an den Polen herrschende Spannung, die Klemmenspannung (Betriebsspannung), abliest. Die Klemmenspannung *K* ist um einen gewissen Betrag niedriger als die EMK (Ruhespannung), da

[1]) E. T. Z. 1895, S. 19. — [2]) Batterieprüfer von Hartmann und Braun bis 3 Volt, s. dritten Abschnitt.

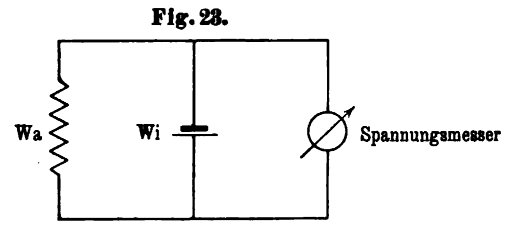
beim Stromdurchgang in der Zelle, wie in jedem anderen Widerstande, ein Spannungsabfall $E - K$ entsteht, der nach dem Ohmschen Gesetze $= Wi \cdot J$ ist[1]). Aus der Gleichung: $E - K = Wi \cdot J$, in der $E - K$ durch Messung bekannt ist und $J = K / Wa$ gesetzt werden kann, ergibt sich:

$$Wi = (E - K) / J = Wa (E - K) / K.$$

Der oben erwähnte Spannungsmesser der Reichs-Telegraphenverwaltung hat eine Einrichtung, die es ermöglicht, durch Anziehen einer Schraube einen Widerstand *Wa* von 10 Ohm anzuschließen. Die abgelesene Klemmenspannung gibt daher den zehnfachen Wert des vom Element durch *Wa* gesandten Stromes an ($J = K/10$). Um auch eine Ablesung des Stromwertes unmittelbar zu ermöglichen, hat die Skala eine zweite Einteilung, deren Werte $^1/_{10}$ der Spannungsskala betragen.

Bei der Prüfung eines Kohlen- oder Trockenelements fällt die Klemmenspannung, nachdem sie beim Anlegen von *Wa* um den Betrag $E - K$ gesunken ist, allmählich noch weiter ab. Diese Erscheinung wird durch die Polarisation hervorgerufen. Um ein Urteil über die Stärke der Polarisation und die Erholungsfähigkeit eines Elements zu gewinnen, muß man die Abnahme der Klemmenspannung einige Minuten beobachten, dann den Widerstand *Wa* abschalten und feststellen, mit welcher Geschwindigkeit die Spannung wieder auf den früheren Wert der EMK zurückkehrt. Für den Betrieb ist es ohne Bedeutung, ob der Spannungsabfall im Element durch den inneren Widerstand oder durch die Polarisation verursacht wird. Man pflegt daher den nach einigen (zwei) Minuten abgelesenen Wert der Klemmenspannung der Beurteilung des Elements zugrunde zu legen.

Fig. 23.



Da die Polarisation mit der Stromstärke zunimmt und auch der Zellenwiderstand sich mit der Stromstärke ändert, muß *Wa* so bemessen werden, daß die übliche Belastung des Elements erreicht wird.

h) Kapazität. Alle Elemente zeigen die Erscheinung, daß beim Betriebe infolge des Verbrauchs der energieerzeugenden Stoffe und der Abscheidung von zersetzten Bestandteilen die Klemmenspannung allmählich zurückgeht und der innere Widerstand steigt. Die Veränderungen werden schließlich so groß, daß ein Auseinandernehmen, Reinigen und Neuansetzen erfolgen muß. Die Gebrauchsdauer, nach der die Elemente verbraucht sind, ist unter Anlehnung an die bei Sammlern übliche Bezeichnungsweise in Spalte 10 der Übersicht auf der vierten Ausschlagtafel als „Kapazität" angegeben worden.

In den Spalten 3 bis 9 sind die Werte der EMK, des inneren Widerstandes und der Polarisation nach den im Betriebe gemachten Beobachtungen zusammengestellt. Sie erscheinen zum Teil ungünstiger, als man in der Regel annimmt; es ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Unterhaltung der Elemente

[1]) Vgl. 2a auf S. 31.



im Betriebe vielfach nicht mit der Sorgfalt erfolgt, die bei einer Beobachtung im Laboratorium möglich ist.

Nähere Erläuterungen über die einzelnen Elemente folgen unter II.

2. Schaltung von Elementen.

a) Wirkung des Batteriewiderstandes. Einer Vergleichung der Primärelemente ist die für verschiedene Arten des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes erforderliche Zellenzahl, die hauptsächlich von dem inneren Widerstande abhängig ist, zugrunde zu legen. Zu diesem Zwecke müssen bestimmte Regeln für verschiedene Betriebsweisen aufgestellt werden.

Der Strom (J), den ein Element abgibt, ist nach dem Ohmschen Gesetz abhängig von der EMK (E) und dem gesamten Widerstande W: $(J = E / W)$. Der Widerstand setzt sich zusammen aus dem äußeren Widerstande (Wa) des Stromkreises und dem bei Stromdurchgang gemessenen inneren Widerstande (Wi) der Batterie, zu dem noch ein kleiner Zuschlag für die Polarisation gerechnet werden möge. Im Betriebe sind in der Regel die äußeren Widerstände und die Stromstärken gegeben. Es kommt nun darauf an, die Batterie so zu bemessen, daß sie den verlangten Strom liefert. Man kann zu diesem Zweck die EMK durch Hintereinanderschaltung von Zellen vergrößern, bis die Stromstärke erreicht ist.

Fig. 24.

Ist die EMK einer Zelle $= e$ und der Zellenwiderstand $= w$, so beträgt die Stromstärke bei n hintereinander geschalteten Zellen: $\dfrac{n \cdot e}{n \cdot w + Wa}$.

Ist w groß im Verhältnis zu Wa, so wächst der Nenner annähernd in demselben Verhältnis wie der Zähler. Die gewünschte Zunahme der Stromstärke tritt dann nicht ein. In solchen Fällen empfiehlt es sich, zugleich den inneren Widerstand der Batterie durch Parallelschaltung mehrerer Reihen von Zellen zu verringern. Bei m parallel geschalteten Reihen beträgt die Stromstärke: $\dfrac{n \cdot e}{n \cdot w \; m + Wa}$.

In der **Fig. 24** sind die Werte $Wi + Wa$ und E senkrecht zueinander aufgetragen und die Endpunkte der Strecken miteinander verbunden. Die Verbindungslinie veranschaulicht den Abfall der Batteriespannung von dem Potential E bis auf den Wert Null. Nach dem Ohmschen Gesetz ist der Spannungsabfall $E = J \cdot (Wi + Wa)$; er ist also abhängig von der Stromstärke und dem Widerstande. Da in den beiden Teilen Wi und Wa dieselbe Stromstärke herrschen muß, entfällt auf jeden ein der Größe des Einzelwiderstandes entsprechender Spannungsabfall $(J \cdot Wi$ und $J \cdot Wa)$. Zwischen den Batteriepolen besteht eine Klemmenspannung K, die im äußeren Stromkreise wirksam ist. Der Wert $E - K$ wird in der Batterie nutzlos verbraucht.

Die Stromstärke, die durch den Neigungswinkel der Spannungslinie (*tang* α) bestimmt wird, läßt sich ausdrücken durch die gleichen Werte: $E/(Wi + Wa)$ oder K/Wa oder $(E - K)/Wi$. Der Strom liefert im äußeren Stromkreise eine Nutzarbeit (Spannung mal Stromstärke) von $K.J$ oder K^2/Wa oder $J^2.Wa$ und im Element eine nutzlose Arbeit von $(E - K).J$ oder $(E - K)^2/Wi$ oder $J^2.Wi$. Das Verhältnis der äußeren zur inneren Arbeit ergibt den Wirkungsgrad, der im Betriebe möglichst günstig sein soll. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades läßt sich jedoch nicht durch Parallelschaltung allein erzielen, weil schließlich die Zahl der erforderlichen Elemente unverhältnismäßig stark wächst. Vielmehr wird die günstigste Ausnutzung einer Batterie dann erreicht, wenn der innere Widerstand in einem bestimmten Verhältnisse zum äußeren steht.

b) Geringste Zellenzahl. Zur Erzielung einer bestimmten Stromstärke J in einem gegebenen äußeren Widerstande Wa sind, wie sich aus Fig. 24 ergibt, hintereinander zu schalten E/e Zellen, von denen jede die EMK e hat. Der Widerstand der Reihe beträgt $w.E/e$, wenn der Zellenwiderstand $= w$ ist. Zur Ermäßigung des Batteriewiderstandes auf den Wert Wi sind parallel zu schalten $\frac{E.w}{e.Wi}$ Reihen. Durch Vervielfachung der Anzahl der hintereinander geschalteten Zellen mit der Anzahl der Reihen ergibt sich die Gesamtzellenzahl $Z = \frac{E}{e} \cdot \frac{E.w}{e.Wi} = \frac{E^2}{Wi} \cdot \frac{w}{e^2}$.

E^2 ist $= J^2(Wi + Wa)^2$, mithin

$$Z = \frac{(Wi + Wa)^2}{Wi} \cdot J^2 \cdot \frac{w}{e^2}.$$

Das Verhältnis von Wi zu Wa ist veränderlich; es möge $Wi/Wa = x$ sein, mithin $Wi = x.Wa$.

Dann ist

$$Z = \frac{(x.Wa + Wa)^2}{x.Wa} \cdot J^2 \cdot \frac{w}{e^2} = \frac{Wa^2(x+1)^2}{x.Wa} \cdot J^2 \cdot \frac{w}{e^2}$$

$$= \frac{x^2 + 2x + 1}{x} \cdot Wa \cdot J^2 \cdot \frac{w}{e^2}$$

oder

$$Z = (x + 1/x + 2)\, Wa.J^2.w/e^2.$$

In diesem Ausdrucke bedeutet $Wa.J^2$ die Arbeit des Stromes im äußeren Kreise, die als feststehend anzusehen ist; w/e^2 stellt einen Wert dar, der durch den inneren Widerstand und die EMK einer Zelle bestimmt wird; e/w ist der Strom, der bei einer unmittelbaren Verbindung der Zellenpole entsteht, und e^2/w die Arbeit, die in diesem Falle in der Zelle geleistet wird. Man kann daher auch schreiben:

$$Z = \left(x + \frac{1}{x} + 2\right) \cdot \frac{\text{Arbeit im äußeren Kreise}}{\text{Kurzschlußarbeit einer Zelle}}.$$

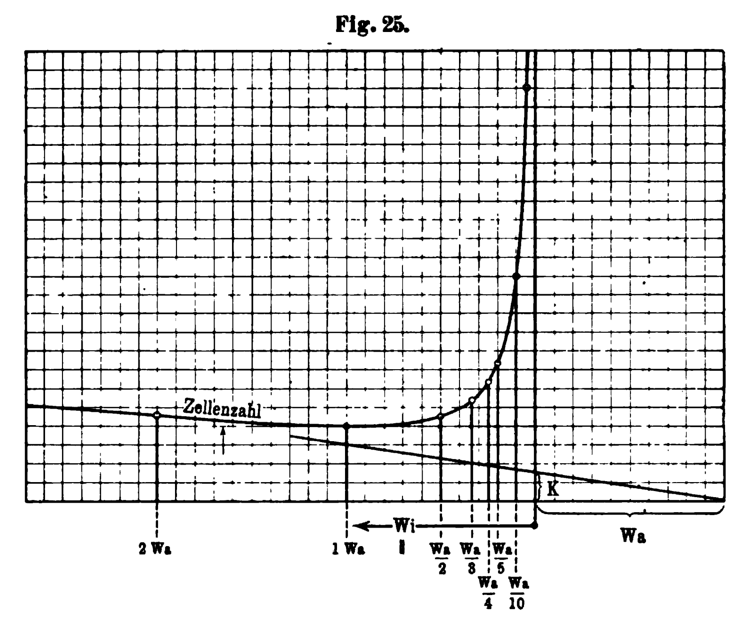
Veränderlich ist in diesem Ausdrucke nur der Wert der Klammer. Setzt man für x, das Verhältnis von Wi zu Wa, verschiedene Zahlenwerte ein, so erhält man die zugehörigen Werte der Klammer, wie sie in der nachstehenden Übersichtstafel zusammengestellt sind:

$x =$	20	10	5	4	3	2	1	$1/2$	$1/3$	$1/4$	$1/5$	$1/10$	$1/20$	$1/100$	$1/1000$
$x + 1/x + 2 =$	22,05	12,1	7,2	6,25	5,33	4,5	4	4,5	5,33	6,25	7,2	12,1	22,05	102	1002

Die Klammer hat danach den kleinsten Wert, wenn $x = 1$ ist[1]); d. h. die Zellenzahl wird am kleinsten, wenn der Batteriewiderstand gleich dem äußeren Widerstande ist. Für die reziproken Zahlen ergibt die Klammer dieselben Werte.

In **Fig. 25** sind die verschiedenen Werte der Klammer für einen festen äußeren Widerstand *Wa* und einen veränderlichen inneren Widerstand *Wi* in Form einer Schaulinie dargestellt. Die Werte von *Wi* sind in Bruchteilen oder Vielfachen von *Wa* abgetragen und in ihren Endpunkten Lote vom zu-

Fig. 25.



gehörigen Werte der Klammer errichtet, z. B. bei $Wa/3 = 5{,}33$. Verbindet man die so erhaltenen Punkte, so erhält man eine Kurve, die von links her langsam abfällt, bei $Wi = Wa$ den kleinsten Wert 4 erreicht, dann zuerst allmählich und zum Schluß sehr steil ansteigt. Die Vervielfachung der Klammer mit den Faktoren $Wa \cdot J^2$ und w/e^2 ändert an ihrem Verlaufe nichts, sondern bestimmt nur die Länge der Lote. Man kann daher aus der Kurve entnehmen, wie unter bestimmten Betriebsverhältnissen der Batteriewiderstand zu bemessen ist.

c) Einzelbatterien. Für einen Betrieb, bei dem der innere Widerstand der Batterie nicht von Bedeutung ist, wird man die Zellen so schalten, daß der innere Widerstand gleich dem äußeren ist und somit die Zahl der Zellen ihren kleinsten Wert hat. Dies gilt in der Regel für alle Stromkreise, die ihre besondere Batterie haben.

---

[1]) Berechnung des Minimums: $y = x + 1/x + 2$; $y' = 1/x - 1/x^2 = 0$; $1 = 1/x$; $x = 1$.

d) Gemeinsame Arbeitsstrombatterien. Beim Arbeitsstrombetriebe kann nicht für jede Leitung eine Batterie aufgestellt werden, weil die Strombeschaffung wegen der erforderlichen großen Anzahl von Zellen unwirtschaftlich wäre. Eine stark benutzte Arbeitsstromleitung verbraucht täglich nur etwa 0,02 AS, während z. B. ein Kupferelement mehr als 1 AS abgeben kann. Es werden deshalb immer mehrere Leitungen gemeinschaftlich aus einer Batterie gespeist. Dabei darf jedoch die Batterie nicht so stark belastet werden, daß die günstigste Zellenzahl erreicht wird, weil sonst die Schwankungen der Batteriespannung zu stark werden und den Betrieb stören könnten. Werden aus einer Batterie n Leitungen gespeist, so beträgt bei der Einzelstromstärke i die Gesamtbelastung i bis $n.i$. Ebenso schwankt die Klemmenspannung einer Zelle zwischen $e - i.w$ und $e - n.i.w$. Wählt man n so, daß die günstigste Zellenschaltung erzielt wird, so würde bei voller Belastung die Hälfte der EMK in der Batterie verbraucht werden und die Stromstärke der Leitungen, wenn alle gleichzeitig arbeiten, annähernd 50 Proz. weniger betragen als beim Arbeiten einer einzigen Leitung. Eine derartige Unsicherheit würde im Betriebe sehr stören, namentlich z. B. in Hughesleitungen. Man wird daher die Stromschwankungen beschränken müssen; allenfalls können sie $^1/_3$ der höchsten Stromstärke betragen. Dann besteht die Gleichung:

$$e - i.w - (e - n.i.w) = \frac{e - i.w}{3}$$

oder

$$n - 1 = \frac{e}{3\,i.w} - \frac{1}{3},$$

woraus sich ergibt:

$$\text{Zahl der anzuschließenden Leitungen } n = \frac{e}{3\,i.w} + \frac{2}{3}$$

und

$$\text{höchste Belastung } n.i = \frac{e}{3\,w} + \frac{2}{3}\,i.$$

Danach würde beispielsweise eine einreihige Kupferbatterie bei 0,02 A Leitungsstromstärke $\frac{1}{3 \times 0{,}02 \times 8} + \frac{2}{3}$ oder drei Leitungen speisen und $\frac{1}{3 \times 8} + \frac{2}{3} \times 0{,}02$ oder 0,06 A Strom liefern können.

e) Gemeinsame Ruhestrombatterien. In Ruhestromleitungen sind die Batterien auf die eingeschalteten Anstalten verteilt. Die Batterien der Endämter, die mehrere Leitungen gemeinsam speisen können, wirken daher nur zu einem geringen Teile auf die Stromstärke der Leitung ein. Infolgedessen machen sich ihre Spannungsschwankungen nicht sehr geltend und dürfen ohne Nachteil 50 Proz. des Höchstwertes erreichen. Für gemeinschaftliche Ruhestrombatterien kann also die günstigste Zellenschaltung verwendet werden. Dies ist auch dann möglich, wenn die unterste Stufe einer Arbeitsstrombatterie für Ruhestromleitungen mit benutzt wird, weil hier die Spannung im Verhältnis zu derjenigen der Arbeitsstromleitungen gering ist.

f) Kabelbetrieb. Für die Kabeltelegraphie ist der Batteriewiderstand von großer Bedeutung. Bei jeder Stromsendung muß zuerst das Kabel ge-



laden werden, bevor der Strom voll auf den Empfangsapparat wirken kann. Nimmt man unter Zulassung einer kleinen Ungenauigkeit an, daß die gesamte Kapazität des Kabels an dessen Anfang liegt, so ist der Ladestrom, der den Zeichenstrom schwächt, t Sekunden nach Stromschluß $= \frac{E}{W} \cdot e^{-\frac{R+W}{C.W.R}\cdot t}$. In diesem Ausdrucke bedeutet E die EMK der Batterie, W den Widerstand der Batterie und ihrer Zuleitung, R den Widerstand und C die Kapazität des Kabels und e die Basis des natürlichen Logarithmensystems = 2,7183. Es werde ein Kabel angenommen von 500 km Länge mit einem Widerstande von $500 \times 7 = 3500$ Ohm und einer Kapazität von $\frac{500 \times 0{,}2}{1\,000\,000} = \frac{1}{10\,000}$ Farad.

Dann ist $$e^{-\frac{R+W}{C.W.R}\cdot t} = \frac{1}{e^{\frac{R+W}{C.W.R}\cdot t}} = \frac{1}{2{,}7183^{\frac{(3500+W)\,10\,000\,t}{3500\,W}}}$$

oder rund $$\frac{1}{2{,}7183^{t\left(\frac{10\,000}{W}+3\right)}}.$$

Die nachstehende Berechnung enthält die zur Zeit des Stromschlusses ($t = 0$) und $^1/_{10}$ Sekunde später ($t = {^1/_{10}}$) bestehenden Werte des Ladungsstromes für ein Kupferelement, ein Chromsäureelement und einen kleinen Sammler.

Bezeichnung und EMK des Elements	Volt	Widerstand einer Zelle Ohm	Widerstand der Batterie von 80 Volt EMK Ohm	Widerstand der Sicherungen und Hauptzuleitungen Ohm	Sicherheitswiderstand bei Sammlern Ohm	Gesamtwiderstand Ohm	Ladungsstrom $\frac{E}{W} \cdot \frac{1}{e^{t\left(\frac{10\,000}{W}+3\right)}}$ bei $t = 0$ Sek. Amp.	$t = {^1/_{10}}$ Sek. Amp.
Kupferelement . .	1	4	320	—	—	320	$\frac{80}{320} = 0{,}25$	$\frac{80}{320} \times \frac{1}{e^{2,8}} = 0{,}015$
Chromsäureelement . .	2	3	120	—	—	120	$\frac{80}{120} = 0{,}67$	$\frac{80}{120} \times \frac{1}{e^{8,6}} = 0{,}000\,12$
Sammler . . .	2	0,05	2	1	80	rund 80	$\frac{80}{80} = 1$	$\frac{80}{80} \times \frac{1}{e^{12,8}} = 0{,}000\,002\,8$
			3					

Die Widerstände der Primärelemente sind niedrig angesetzt, da im Kabelbetriebe nur gut unterhaltene Zellen benutzt werden dürfen. Bei dem Sammler ist der Wert des Vorschaltwiderstandes (1 Ohm auf 1 Volt) so hoch, daß der eigentliche innere Widerstand dagegen vernachlässigt werden kann.

Während der von Sammlern oder Chromsäureelementen in einem Kabel erzeugte Ladungsstrom schon $^1/_{10}$ Sek. nach Stromschluß so unbedeutend ist, daß die Ladung als beendet angesehen werden kann, beträgt er bei Kupfer-

elementen in einreihiger Schaltung noch 0,015 A, also etwa so viel, wie für den Telegraphierstrom erforderlich ist. Bei Verwendung von Sammlern oder Chromsäureelementen kann also die Stromsendung nach $^1/_{10}$ Sek. unterbrochen werden, wogegen Kupferelemente zu diesem Zeitpunkte den Strom noch nicht voll bis zum Ende des Kabels getrieben haben. Ein Zeitraum von $^1/_{10}$ Sek. ist aber für den Betrieb schon von großer Bedeutung; er entspricht etwa der Dauer eines mit der Hand gegebenen Morsepunkts und der doppelten Dauer eines Hughesstromstoßes. Kupferelemente in einreihiger Schaltung sind daher für den Kabelbetrieb nicht geeignet; sie müssen in zwei- oder dreifacher Parallelschaltung verwendet werden. Dagegen können Trockenelemente mit Vorteil für den Kabelbetrieb benutzt werden, wenn die Stromentnahme gering ist.

Im ersten Augenblick der Stromabgabe wirkt, wie sich aus der Formel ersehen läßt, die Kapazität des Kabels wie ein Kurzschluß der Batterie. Dabei sinkt die Klemmenspannung, wenn kein Vorschaltwiderstand vorhanden und der Widerstand der Zuleitungen gering ist, annähernd auf 0. Es ist daher nur dann angängig, eine Kabelbatterie zum Betriebe anderer Leitungen mit zu benutzen, wenn die Kabelzuleitung erheblich mehr Widerstand enthält als die Batterie selbst, wie z. B. bei Sammlern.

g) Einzel-Mikrophonstromkreise. In Mikrophonkreisen für Lokalbatteriebetrieb bewirken die Änderungen des Mikrophonwiderstandes Gleichstromschwankungen in dem aus Mikrophon, Induktionsspule (primär) und Batterie bestehenden Kreise (vgl. Fig. 16 a. S. 20). Mit der Größe der Schwankungen nimmt die Stärke der Lautübermittelung zu. Eine Verbesserung läßt sich daher durch Erhöhung der Stromstärke erzielen. Jedoch darf dabei mit Rücksicht auf die Mikrophonkontakte und die magnetische Sättigung der Induktionsspule ein gewisser Wert nicht überschritten werden; in der Regel nicht über 0,15 A.

Die Wirkung des Mikrophons läßt sich besser dadurch steigern, daß die im primären Stromkreise liegenden, als Ballast wirkenden unveränderlichen Widerstände im Verhältnis zum veränderlichen Mikrophonwiderstande möglichst klein gewählt werden. Der Widerstand der Induktionsspule von rund 1 Ohm, der im Vergleich zum Mikrophonwiderstande von 10 bis 20 Ohm schon gering ist, läßt sich nicht noch mehr verkleinern. Es muß daher erstrebt werden, den Batteriewiderstand möglichst herabzumindern.

Wie weit das tunlich ist, läßt sich aus den Fig. 24 und 25 herleiten; der Widerstand der Induktionsspule möge dabei als unbedeutend vernachlässigt werden. Die mittlere Stromstärke ist $= \frac{K}{Wa}$ oder $= \frac{E}{Wi + Wa}$. Vermindert sich beim Sprechen der Mikrophonwiderstand um das n-fache, also um $n \cdot Wa$, so erhöht sich die Stromstärke auf $\frac{E}{Wi + Wa - n \cdot Wa}$.

Setzt man $Wi = x \cdot Wa$, so erhält man $\frac{E}{Wa\,(1 + x - n)}$.

Die Stromschwankung beträgt mithin:

$$\frac{E}{Wa\,(1 + x - n)} - \frac{K}{Wa}.$$

Nach Fig. 24 ist:

$$\frac{E-K}{Wi} = \frac{K}{Wa} \quad \text{oder} \quad \frac{E-K}{x.Wa} = \frac{K}{Wa}$$

$$\text{oder} \quad E - K = x.K \quad \text{oder} \quad E = K(1+x).$$

Führt man diesen Wert in die Formel für die Stromschwankung ein, so erhält man:

$$\frac{K(1+x)}{Wa(1+x-n)} - \frac{K}{Wa} \quad \text{oder} \quad \frac{K}{Wa} \cdot \frac{1+x-(1+x-n)}{1+x-n}$$

$$\text{oder} \quad \frac{K}{Wa} \cdot \frac{n}{1+x-n} \quad \text{oder} \quad \frac{K}{Wa} \cdot \frac{1}{(1+x)/n-1}.$$

Bei einer Vergrößerung des Mikrophonwiderstandes beträgt die Stromschwankung:

$$\frac{K}{Wa} \cdot \frac{n}{1+x+n} \quad \text{oder} \quad \frac{K}{Wa} \cdot \frac{1}{(1+x)/n+1}.$$

Die Zu- oder Abnahme des Stromes bildet sonach einen Bruchteil der durchschnittlichen Stromstärke (K/Wa). Um welchen Bruchteil die Stromstärke bei verschiedenen Werten von x schwankt, zeigt die nachstehende Berechnung, und zwar für eine Abnahme des Mikrophonwiderstandes um die Hälfte und um $^1/_{10}$, und für eine Zunahme um die Hälfte[1]).

Wenn $x =$	1	$^1/_2$	$^1/_3$	$^1/_4$	$^1/_5$
wird $x + 1/x + 2 =$	4	4,5	5,33	6,25	7,2
schwankt der Strom um Proz.:					
bei Verminderung des Mikrophonwiderstandes um $^1/_2$	33	50	60	66	71
bei Verminderung des Mikrophonwiderstandes um $^1/_{10}$	5,3	7,1	8,1	8,7	9,1
bei Vergrößerung des Mikrophonwiderstandes um $^1/_2$	20	25	27	29	29
beträgt das Verhältnis der Stromschwankung zur Zellenzahl:					
bei Verminderung des Mikrophonwiderstandes um $^1/_2$	8,2	11,1	11,2	10,6	10
bei Verminderung des Mikrophonwiderstandes um $^1/_{10}$	1,3	1,6	1,5	1,4	1,3
bei Vergrößerung des Mikrophonwiderstandes um $^1/_2$	5	5,6	5	4,7	4

Aus dieser Berechnung ist zu ersehen, daß die Stromschwankung bei einer Verminderung des Batteriewiderstandes bis auf ein Drittel des Mikrophonwiderstandes ($x = ^1/_3$) ziemlich stark, dann aber langsamer steigt. Diese

[1]) Nach S. 342 der E. T. Z. 1908 wurden an drei Mikrophonen beim Sprechen folgende Widerstandswerte beobachtet:

I.: 4, 3,8, 3,7, 3,4, 3,2, 3,0, 3,6, 3,5, 3,4, 3,3, 3,2, 3,0, dann plötzlich 6,3.
II.: 43, 22,5, 19, 18. III.: 600, 900, 700.

Erscheinung tritt noch mehr hervor, wenn der Widerstand der Induktionsspule als unveränderlicher Teil des äußeren Widerstandes in Rechnung gesetzt wird. Außerdem wird auch eine weitere Verkleinerung des Batteriewiderstandes immer kostspieliger, weil sie eine unverhältnismäßig starke Vermehrung der Zellen entsprechend der Steigerung des Wertes $x + 1/x + 2$ (vgl. Fig. 25, S. 33) bedingt. Welcher Betrag der Stromschwankung im Verhältnis auf eine Zelle zu berechnen ist, läßt sich aus den unteren drei Spalten ersehen. Das Verhältnis ist am günstigsten, wenn der Batteriewiderstand ein Drittel oder die Hälfte des äußeren Widerstandes beträgt.

Es empfiehlt sich daher, den Batteriewiderstand auf diesen Wert zu bemessen, wie es auch im Betriebe meist geschieht. Z. B. werden bei der Reichs-Telegraphenverwaltung für Amtsmikrophone jetzt zwei Reihen von je drei hintereinander geschalteten Kupferelementen benutzt, während früher drei Reihen zu je zwei Elementen parallel geschaltet wurden. Die nachstehende Übersicht zeigt, wie der Strom nach der alten und der neuen Schaltung bei Verminderung des Mikrophonwiderstandes von 20 auf 16 Ohm schwankt:

		Widerstand einer Zelle			
		4 Ohm	6 Ohm	8 Ohm	10 Ohm
Drei Reihen zu je zwei hintereinander geschalteten Zellen	Batteriewiderstand in Proz. des Mikrophonwiderstandes . . .	13,4	20	26,5	33,3
	Stromstärke (A) bei 20 Ohm Mikrophonwiderstand	0,09	0,083	0,079	0,075
	Stromstärke (A) bei 16 Ohm Mikrophonwiderstand	0,107	0,100	0,094	0,088
	Schwankung	**0,017**	**0,017**	**0,015**	**0,013**
Zwei Reihen zu je drei hintereinander geschalteten Zellen	Batteriewiderstand in Proz. des Mikrophonwiderstandes . . .	30	45	60	75
	Stromstärke (A) bei 20 Ohm Mikrophonwiderstand	0,115	0,1035	0,094	0,086
	Stromstärke (A) bei 16 Ohm Mikrophonwiderstand	0,136	0,12	0,107	0,097
	Schwankung	**0,021**	**0,0165**	**0,013**	**0,011**

Aus der Berechnung ergibt sich, daß die abgeänderte Schaltung zwar für neu angesetzte Elemente mit 4 Ohm Widerstand bedeutend günstiger ist, aber keine Vorteile mehr bringt, wenn der Batteriewiderstand die Hälfte des Mikrophonwiderstandes übersteigt. Die Abnahme der EMK, die sich bei drei hintereinander geschalteten Zellen stärker als bei zwei Elementen bemerkbar macht, ist dabei außer Betracht gelassen. Das Beispiel bestätigt also die oben aufgestellte Regel.

Die Maße der Fig. 24 (S. 31) sind so gewählt, daß die Darstellung einem Mikrophonkreise mit 20 Ohm Mikrophonwiderstand und 9 Ohm Batteriewiderstand, also zwei parallel geschalteten Reihen von je drei Kupferelementen mit 6 Ohm Zellenwiderstand entspricht. Fig. 25 (S. 33) stellt die Verhältnisse für 10 Ohm Mikrophonwiderstand und 0,15 A Stromstärke dar. Trägt man hier einen inneren Widerstand von $^1/_3\,Wa = 3{,}3$ Ohm ab und errichtet im Endpunkte

ein Lot, so findet man, daß die EMK der Batterie etwa 2 Volt betragen muß. Diese Bedingungen lassen sich etwa durch zwei hintereinander geschaltete Trockenelemente mit $2 \times 2 = 4$ Ohm Widerstand und $2 \times 1{,}1 = 2{,}2$ V EMK erfüllen. Bei Zellen mit größerem Widerstande müßte eine entsprechende Anzahl von Reihen mit 2 V EMK parallel geschaltet werden.

h) Gemeinsame Mikrophonbatterien. Soll eine Batterie mehrere Mikrophone in Lokalbatterieschaltung speisen, so muß ihr Widerstand geringer sein als bei Einzelbetrieb. Durch die Stromschwankungen eines sprechenden Mikrophonkreises entstehen Änderungen der Batterie-Klemmenspannung, die wiederum gleichartige Stromschwankungen in den anderen Kreisen erzeugen. Die Sprechströme, die auf diese Weise in die Hörkreise übertragen werden, sind dort noch wahrnehmbar, wenn ihre Stärke $^1/_{1000}$ bis $^1/_{100}$ der gewöhnlichen Betriebsstromstärke beträgt. Nimmt man dasselbe Verhältnis für die primären Mikrophonstromwege an, so darf in die ruhenden Kreise nicht mehr als $^1/_{1000}$ bis $^1/_{100}$ von der Stromschwankung des sprechenden Kreises gelangen. Hier betrage die Stromstärke J und ihre Änderung $n.J$. Dann schwankt die Klemmenspannung der Batterie bei einem inneren Widerstande Wi um $n.J.Wi$, und es entstehen in jedem unbeteiligten Kreise mit M Ohm Widerstand Schwankungen von $n.J.Wi/M$. Diese müssen kleiner sein als $^1/_{1000}$ bis $^1/_{100}$ von $n.J$. Mithin ist: $n.J.Wi/M < {}^1/_{1000}.n.J$ bis $^1/_{100}.n.J$ oder

$$Wi < {}^1/_{1000}.M \text{ bis } {}^1/_{100}.M.$$

Danach darf der Batteriewiderstand bei 10-ohmigen Mikrophonen 0,01 bis 0,1 Ohm und bei 20-ohmigen Mikrophonen 0,02 bis 0,2 Ohm nicht übersteigen. Als Durchschnittswert kann man 0,1 annehmen.

Auch bei dem Z. B.-System der Western Electric Co. darf der innere Widerstand der Batterie eine gewisse Grenze nicht übersteigen, weil sie von den Teilnehmersprechströmen durchflossen wird. Da die Batterien aus großen Sammlern bestehen, haben sie keinen erheblichen Zellenwiderstand; aber ein Widerstand in den Haupt-Batterieleitungen bringt dieselben Erscheinungen hervor wie der innere Widerstand. Man bemißt daher die Hauptleitungen so, daß ihr Widerstand nicht über 0,05 [1]) Ohm steigt.

Bei dem Z. B -System der Firma Siemens u. Halske sind dagegen alle Abzweigungen von der Batterie mit Drosselspulen ausgerüstet, so daß ihr Strom als unveränderlich angesehen werden kann. Eine Beeinflussung anderer Stromkreise findet daher auch bei einem weniger ermäßigten inneren Widerstande nicht statt.

i) Gemeinsame Mikrophonbatterien mit Pufferbatterie. Eine starke Ermäßigung des Batteriewiderstandes läßt sich bei vielen Elementen nur sehr schwer erreichen. Aber auch bei Zellen mit geringem inneren Widerstande, z. B. den Sammlern, wird die Verwendung für gemeinschaftliche Mikrophonbatterien oft dadurch erschwert, daß der Widerstand der Batteriezuleitungen mehr als 0,1 Ohm beträgt und daher dieselben Störungen verursacht wie der Batteriewiderstand selbst. In solchen Fällen stellt man zwischen den beiden Polen der Batteriezuleitung an der Stelle, wo die Mikrophonkreise abgezweigt sind, eine Verbindung her, die weniger als 0,1 Ohm Widerstand

---

[1]) El. World 1907, S. 548.

hat und die Spannung zwischen beiden Punkten unverändert erhält. Zu diesem Behufe muß in dem Verbindungsstück eine Gegenspannung vorhanden sein, die der Spannung zwischen den beiden Anschlußpunkten gleichkommt und so einen erheblichen Stromfluß von einem Pole zum anderen verhütet. Hierzu lassen sich Kupferoxydelemente oder Sammler verwenden. Der Widerstand ist bei Sammlern sehr gering und kann bei Kupferoxydelementen durch Auswahl großer Elektrodenplatten und Verringerung ihres Abstandes genügend ermäßigt werden. Beide eignen sich gut für die Verwendung als Pufferbatterien in Mikrophonkreisen mit 2 V Spannung, weil ihre Gegenspannung über 2 V steigt. Näheres über das Verhalten der Elemente wird später in den Einzelbesprechungen beigebracht werden.

Wenn eine Pufferbatterie vorhanden ist, kann der Widerstand der Hauptbatterie und ihrer Hauptzuleitungen so groß bemessen werden, daß die günstigste Zellenschaltung ($Wi = Wa$) erzielt wird.

Die Wirkungsweise möge an folgendem Beispiel erläutert werden. Es sind vier Mikrophone mit je 20 Ohm Widerstand und 5 (= 20/4) Ohm Gesamtwiderstand an eine Kupferbatterie von 5 Ohm innerem Widerstand anzuschließen. Die Stromstärke eines Mikrophons soll 0,075 A betragen. Mithin ist eine Klemmenspannung von $0{,}075 \times 20 = 1{,}5$ V erforderlich. Die EMK muß, da die Hälfte davon in der Batterie verzehrt wird, 3 V betragen. Dazu sind drei Kupferelemente hintereinander zu schalten. Ihr Widerstand ist 3×8 oder 24 Ohm. Um den Batteriewiderstand auf den verlangten Wert ($Wi = Wa$) zu ermäßigen, müssen fünf Reihen parallel geschaltet werden. Das ergibt 24/5 oder 4,8 Ohm. Außerdem mögen 0,2 Ohm Widerstand auf die gemeinsamen Hauptzuleitungen entfallen. Die gewöhnliche Stromstärke ist dann $= 3/(4{,}8 + 0{,}2 + 5)$ oder 0,3 A. Ermäßigt sich nun der Widerstand eines Mikrophons beim Sprechen um 2/10 = 4 Ohm, so wird der gesamte äußere Widerstand $= \frac{16 \times 20/3}{16 + 20/3} = 4{,}7$ Ohm und die Stromstärke $= 3/(4{,}8 + 0{,}2 + 4{,}7) = 0{,}309$ A. Die Stromzunahme von 0,309 — 0,3 oder 0,009 A verteilt sich auf beide Batterien im umgekehrten Verhältnis ihrer Widerstände von 5 und 0,1 Ohm. Danach entfallen auf die Hauptbatterie $0{,}009/51 = 0{,}000\,18$ A und auf die Pufferbatterie $0{,}009 \times 50/51 = 0{,}008\,82$ A. Dabei beträgt die Spannungsschwankung in der Hauptbatterie $0{,}000\,18 \times 5 = 0{,}0009$ V und in der Pufferbatterie $0{,}008\,82 \times 0{,}1$ = rund 0,0009 V. In den ruhenden drei Mikrophonkreisen entstehen dadurch Stromschwankungen von $0{,}0009/20 = 0{,}000\,045$ A, die sich zur gewöhnlichen Betriebsschwankung verhalten wie 0,000 045 zu 0,009, mithin nur $^1/_{200}$ davon betragen. Das Zusammenwirken beider Batterien kann man sich so vorstellen, daß die Hauptbatterie nur den gleichmäßigen Stromfluß aufrecht erhält, und daß die wirksamen Stromschwankungen aus der Pufferbatterie herrühren, deren Widerstand den an gemeinsame Mikrophonbatterien zu stellenden Anforderungen entspricht. Da der Widerstand der Mikrophone sich abwechselnd verkleinert und vergrößert, besteht die Tätigkeit der Pufferbatterie in der Hergabe und Aufnahme der Ausgleichsströme. Dabei wird sie nicht entladen und bedarf nur einer außerordentlich geringen Kapazität. Bei den Sammlern tritt jedoch infolge besonderer Umstände, die später zu besprechen sind, eine Entladung ein.

k) Zusammenfassung. Zur Vergleichung der Elemente ist in Spalte 11 der Übersicht (a. d. vierten Tafel) die günstigste Stromstärke für verschiedene Betriebsarten angegeben. Der Batteriewiderstand ist den abgeleiteten Regeln entsprechend bei der Berechnung für den Ruhestrombetrieb und für Einzel-Arbeitsstrombatterien mit der Hälfte, und für den Mikrophonbetrieb einer Sprechstelle mit $^1/_4$ des Gesamtwiderstandes angesetzt. Es ist danach der Spannungsverbrauch in der Batterie $E - K = E/2$ bzw. $E/4$ und der Strom $= E/2\,Wi$ bzw. $E/4\,Wi$. Danach entfallen auf jedes Element beim Ruhestrombetriebe $e/2\,w$ und beim Sprechstellenbetriebe $e/4\,w$. Für Zellen in gemeinsamen Arbeitsstrombatterien ist der Wert $e/3\,w + 2\,i/3$ zugrunde gelegt; $2\,i/3$ ist gleich rund 0,02 angesetzt. Wenn bei einer großen Anzahl von Leitungen eine stärkere Belastung der Batterie möglich ist, erhöhen sich die Werte der Spalte 11 entsprechend um einen Bruchteil.

Spalte 12 gibt an, wieviel Zellen für eine bestimmte Stromstärke parallel zu schalten sind. Beim Ruhestrombetriebe gelten die Zahlen für 1 A; sie sind die reziproken Werte der Summen aus Spalte 11. Für gemeinschaftliche Arbeitsstrombatterien ist ebenfalls die Zahl der für 1 A erforderlichen Zellen berechnet in der Annahme, daß alle angeschlossenen Leitungen zugleich Strom verbrauchen. Dieser Fall wird zwar nicht oft eintreten, muß aber bei der Bemessung des Batteriewiderstandes ins Auge gefaßt werden. Im Durchschnitt beträgt die Stromstärke einer gemeinsamen Arbeitsstrombatterie, wenn eine Leitung täglich im ganzen eine Stunde lang Strom verbraucht, nur $^1/_{24}$ der höchsten Stromstärke. Der Wert 0,02 aus dem Kopfe der Spalte 11 kann, da es sich in Spalte 12 um eine größere Stromstärke handelt, vernachlässigt werden. Für den Sprechstellenbetrieb sind 0,15 A angenommen, obgleich die Primärelemente oft nur die Hälfte davon zu liefern haben. Es mußte jedoch ein höherer Wert zugrunde gelegt werden, damit die Vorteile der Zellen mit geringem Widerstande zur Geltung kommen. Für einen schwächeren Mikrophonstrom lassen sich die Zahlen leicht umrechnen.

Spalte 13 enthält Angaben über die Anzahl der für eine Arbeitsleistung von 1 Watt[1]) im äußeren Stromkreise (Nutzarbeit) erforderlichen Elemente. Beim Ruhestrombetriebe ist die Zahl der für 1 A parallel zu schaltenden Zellen mit der Zahl der für 1 V Klemmenspannung erforderlichen Elemente vervielfacht. Für 1 V EMK sind $1/e$ Zellen und für 1 V Klemmenspannung doppelt so viel, $= 2/e$ Zellen erforderlich; $(2\,w/e)(2/e)$ ergibt $4\,w/e^2$. Im Arbeitsstrombetriebe wird unter den angenommenen Bedingungen die durchschnittliche Klemmenspannung der EMK annähernd gleich sein; es sind deshalb $(3\,w/e)(1/e)$ oder $3\,w/e^2$ angesetzt worden. Für Sprechstellenbatterien ist eine Klemmenspannung von 1,5 V bei einer EMK von $1{,}5 \times 4/3 = 2$ V angenommen ($Wi = Wa/3$). Die Zahl der hierfür erforderlichen Zellen beträgt $0{,}15\,(4\,w/e)\,(2/e) = 1{,}2\,w/e^2$.

In den folgenden Spalten 14 bis 19 ist die Unterscheidung der drei Betriebsarten beibehalten. Beim Vergleichen der Elemente ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Angaben über EMK und inneren Widerstand des Kohlen- und des Trockenelements aus Versuchen mit unterbrochenem Betriebe

---

[1]) 1 Watt (1 W) oder 1 Voltampere ist gleich dem Produkt: 1 Volt mal 1 Ampere.

gewonnen sind. Diese Elemente dürfen daher für Ruhestrombetrieb nicht wie die anderen beurteilt werden. Bei dem Thermoelement und dem Sammler sind die angegebenen Stromstärken niedriger als die aus den Formeln berechneten. Daraus ergibt sich für diese Zellen der Vorteil, daß die Spannungsschwankungen kleiner bleiben, als in den Voraussetzungen angenommen war. Bei den übrigen Elementen stimmen die berechneten Werte annähernd mit den üblichen Betriebsstromstärken überein.

3. Kosten[1]).

a) Beschaffungs- und Unterhaltungskosten der Elemente sowie Stromkosten. Aus den Eigenschaften der Elemente und den Bedürfnissen der verschiedenen Betriebsarten lassen sich die Betriebskosten für jedes Element ermitteln. In den Spalten 14 bis 21 der Zusammenstellung sind die Kosten der Beschaffung, der jährlichen Unterhaltung und der Stromlieferung a) für Ruhestrom- und Einzel-Arbeitsstrombatterien, b) für gemeinsame Arbeitsstrombatterien und c) für Mikrophonbatterien bei den Sprechstellen angegeben.

Spalte 14 enthält die Beschaffungskosten einer Zelle und

Spalte 15 die Beschaffungskosten für 1 V EMK. Die Werte dieser Spalte können zugleich als Kosten von 1 V Klemmenspannung bei sehr schwacher Belastung angesehen werden.

Die Beschaffungskosten der Batterien für bestimmte Arbeitsleistungen finden sich in Spalte 16; sie werden dadurch erhalten, daß man die Angaben der Spalte 13, Anzahl der erforderlichen Zellen, mit denen der Spalte 14, Preis einer Zelle, vervielfacht.

Bei den jährlichen Unterhaltungskosten eines Elements ist zu unterscheiden zwischen solchen Ausgaben, die von der Stärke der Benutzung unabhängig sind, und solchen, die durch den Stromverbrauch bedingt werden. Zu den ersteren sind gerechnet die Kosten der Bedienung, der Erneuerung beschädigter Teile, der Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals, der Verluste durch Lokalaktion und durch mangelhafte Isolation. Die Bedienungskosten gelten für Elemente, die beim Amte aufgestellt sind.

Die unmittelbar entstehenden Stromkosten sind nach dem theoretischen Materialverbrauch (Faradaysches Gesetz) berechnet. Nur bei dem Trockenelement, dem Chromsäureelement und dem Kupferoxydelement, die von vornherein mit einer bestimmten Menge des Elektrolyts usw. beschickt werden, ist der Strompreis aus den Beschaffungskosten und der gesamten Energieabgabe ermittelt worden. Der so gefundene Strompreis des Trockenelements weicht von demjenigen des Kohlenelements sehr stark ab, obgleich dieses dieselbe Bauart besitzt. Der Unterschied erklärt sich daraus, daß die Bestandteile des Trockenelements nicht aufgebraucht werden können und auch als Altmaterial nur geringen Wert haben.

b) Jährliche Gesamtkosten. Durch die Zusammenfassung der jährlichen Unterhaltungskosten und der für das Jahr berechneten Stromkosten ergeben sich die in den Spalten 22 und 23 aufgeführten Gesamtkosten der drei Betriebsarten. Die jährlichen Stromkosten sind angenommen: im Ruhe-

[1]) Siehe auch Zetzsche, 4. Bd, Tabelle X.

strombetriebe für die dauernde Lieferung von 1 A bei 1 V Klemmenspannung = 1 W und im Arbeitsstrombetriebe für einen Durchschnittsstrom von 1 24 A bei 1 V Klemmenspannung = 1/24 W. Vorausgesetzt ist dabei, daß jede Arbeitsstromleitung täglich im ganzen eine Stunde lang zu speisen ist, und daß die Arbeitsstrombatterie bei gleichzeitiger Stromentnahme in allen Leitungen 1 W zu liefern hat. Geht man davon aus, daß bei großen Batterien niemals alle Leitungen gleichzeitig zu speisen sind, sondern daß die Höchstbelastung der Batterie nur das 12-, 6- oder 3-fache der Durchschnittsbelastung beträgt, so verringern sich wegen der zulässigen Vergrößerung des Widerstandes die Kosten, wie aus der nachstehenden Berechnung zu ersehen ist.

Jährliche Gesamtkosten der Speisung von Arbeitsstromleitungen

bei einem Verhältnis des Batterie-Höchststromes zum Durchschnittsstrom	für					
	Kupferelement ℳ	Kohlenelement ℳ	Trockenelement ℳ	Chromsäureelement ℳ	Kupferoxydelement ℳ	Thermoelement ℳ
24	23	13	17	10	9	27
12	12	7	16	6	5	21
6	6	4	16	4	4	18
3	4	2	16	3	3	17
Davon sind reine Stromkosten . .	0,7	0,6	16	2	1,8	15

Die Kostensätze der Spalten 16, 19 und 23 für Arbeits- und Ruhestrombatterien gelten unter der Voraussetzung, daß die Elemente voll belastet sind. Sie erhöhen sich bei schwächerer Stromentnahme, da die Unterhaltungskosten nicht abnehmen.

Für den Mikrophonbetrieb einer Sprechstelle sind nach den bisherigen Annahmen $0{,}15 \times 1{,}5 = 0{,}225$ W angesetzt. Wird täglich bei 10 Gesprächen von drei Minuten Dauer 30 Minuten oder eine halbe Stunde lang Strom entnommen, so beträgt der jährliche Energieverbrauch $\frac{1}{2} \times 365 \times 0{,}225 = 40$ WS[1]) Zu den Unterhaltungskosten ist in Spalte 19 noch ein Betrag hinzugerechnet, der den besonderen Ausgaben für zurückzulegende Wege zu den zerstreuten Sprechstellen und für Beförderung ausgewechselter Elemente entspricht. Wie man sieht, sind im Mikrophonbetriebe die Stromkosten gegenüber den Unterhaltungskosten verschwindend gering; nur beim Trockenelemente sind sie größer. Die Gesamtsumme bleibt aber auch hier wegen der Einfachheit der Unterhaltung so niedrig, daß das Trockenelement bei weitem die billigste Sprechstellenbatterie ist.

Für Amtsmikrophone kann man durchschnittlich mit einem 10-stündigen Betriebe rechnen. Um dessen Kosten zu ermitteln, hat man den Wert aus Spalte 22 (eine halbe Stunde Betrieb) mit 20 zu vervielfachen und zu der ersten Zahl aus Spalte 19 hinzuzurechnen. Die Summen, die sich auf diese Weise ergeben, sind in eckigen Klammern aufgeführt.

---

[1]) 1 WS = 1 Wattstunde = 1 Watt eine Stunde lang.

Bei gemeinsamen Mikrophonbatterien mit oder ohne Pufferbatterien werden die Kosten nach den Sätzen des Ruhestrombetriebes für 10-stündige Benutzung zu berechnen sein. Unter Vernachlässigung der unbedeutenden Kosten der Pufferbatterien und ihres Stromverbrauchs ergeben sich folgende Preise für 10 WS täglich im Jahre:

	Unterhaltungs-kosten ℳ	Stromkosten ℳ	Zusammen ℳ
Kupferelement	29	15	44
Chromsäureelement	10	40	50
Kupferoxydelement	9	37	46
Thermoelement	16	11	27

In den Kostenberechnungen sind die Preise so gewählt, daß sie für den Bezug größerer Mengen von Materialien gelten. Auf den durch Verunreinigungen der Stoffe entstehenden Abfall ist durch entsprechende Erhöhung der Preise Rücksicht genommen. Die Ausgaben für Räume und andere Zwecke allgemeiner Art sind außer Betracht gelassen, weil sie je nach den Verhältnissen große Verschiedenheiten aufweisen. Einzelheiten über die Preise enthält die folgende Besprechung der Elemente.

II. Einzelne Elemente.

1. Kupferelement.

a) Chemischer Vorgang. Das Kupferelement enthält eine Zinkelektrode (Zn) in Zinkvitriollösung ($ZnSO_4$) und eine Kupferelektrode (Cu) in Kupfervitriollösung ($CuSO_4$). Der Vorgang der Stromentstehung läßt sich in folgender Weise darstellen:

$$\rightarrow Zn \rightarrow \left| \begin{matrix} Zn^{\cdot\cdot} \rightarrow \\ \leftarrow SO_4'' \end{matrix} \right| \begin{matrix} \leftarrow SO_4'' \\ Cu^{\cdot\cdot} \rightarrow \end{matrix} \Big| \, Cu \rightarrow \quad (\text{Rückleitung} \leftarrow)$$

Die Metallionen wandern nach der Kathode, die SO_4-Ionen nach der Anode. An der Kupferelektrode schlagen sich Kupferionen als metallisches Kupfer unter gleichzeitiger Abgabe ihrer positiven Ladung nieder. Die SO_4-Ionen des Kupfervitriols verbinden sich mit den nach der Kathode wandernden Zn-Ionen zu $ZnSO_4$. Mit den frei werdenden SO_4-Ionen des Zinkvitriols bildet die Zinkelektrode $ZnSO_4$ unter gleichzeitiger Abgabe einer positiven Ladung, die ihr durch den Schließungsbogen wieder zufließt. Die Folge der Stromerzeugung ist daher ein Verbrauch von Zink und Kupfervitriol und eine Bildung von Zinkvitriol und Kupfer.

b) Die **EMK** des Kupferelements hat ihren Sitz an den Berührungsstellen der Elektroden und Flüssigkeiten, und zwar an jeder Elektrode etwa zur Hälfte. Daneben tritt noch eine geringe EMK an der Berührungsstelle zwischen beiden Flüssigkeiten auf. Die EMK wächst mit der Verdünnung der Zinkvitriollösung und mit der Verstärkung der Kupfervitriollösung. Wenn sich daher im Betriebe Zinkvitriol gebildet hat, muß die Lösung ver-

dünnt werden. Die Verdünnung darf man jedoch nicht zu weit treiben, weil sonst der innere Widerstand zu groß wird. Auch die Verstärkung der Kupfervitriollösung ist nur in beschränktem Maße möglich, da es bei starker Konzentration zur Zinkelektrode diffundiert und unter gleichzeitiger Auflösung einer entsprechenden Menge Zink dort Kupfer abscheidet. Ganz zu vermeiden ist dieser Übelstand jedoch nicht. Die niedergeschlagenen Kupferteilchen bilden mit dem Zink kleine Elemente, die fortwährend Zink auflösen und dabei die Elektrode mit einer harten, schlecht leitenden Schicht von Zinkoxyd überziehen. Die Schicht wird durch oxydiertes Kupfer noch verstärkt. In derselben Weise wirken auch Verunreinigungen des Zinks, wie Eisen, Kohle usw. Durch die entstehende Schicht wird die EMK des Elements, die nach dem Ansetzen 1,08 V beträgt, herabgesetzt. In einem Falle konnte folgende Abnahme festgestellt werden[1]):

nach	66	Tagen	auf	87	Proz.
„	180	„	„	78	„
„	300	„	„	73	„
„	400	„	„	68,8	„

der anfänglichen Spannung.

In Spalte 5 der Übersicht ist als Durchschnittswert der EMK 1 V angegeben.

c) Der **innere Widerstand** frisch angesetzter Kupferelemente beträgt 3 bis 4 Ohm. Bei Elementen mit neu eingefetteten Bleiplatten ist er anfänglich noch um 2 Ohm größer, bis sich ein Kupferniederschlag gebildet hat. Durch die zunehmende Verstärkung der Zinkvitriollösung wird der Widerstand allmählich verringert. Die Verringerung kommt jedoch nicht zur Geltung, weil gleichzeitig durch die Bildung des schlecht leitenden Überzuges an der Zinkelektrode eine Steigerung des Widerstandes eintritt. Somit hängt die Veränderung des inneren Widerstandes von der Stärke der Diffusion des Kupfervitriols ab. Man kann die Diffusion zwar dadurch abschwächen, daß man die Menge der Kupfervitriollösung so klein macht, als es die Rücksicht auf den inneren Widerstand zuläßt. Dies ist jedoch nur in Arbeitsstromelementen, die wenig Kupfervitriol verbrauchen, möglich, während Ruhestromelemente immer einen größeren Vorrat von gelöstem Kupfervitriol enthalten müssen, wenn nicht allzu häufig nachgeschüttet werden soll. Obgleich die Diffusion im allgemeinen durch stärkeren Strom zurückgehalten wird, ist sie wegen des größeren Vorrats an Kupfervitriol doch in Ruhestrombatterien größer als in Arbeitsstrombatterien. Während diese 6 bis 12 Monate benutzt werden können, müssen jene vierteljährlich gereinigt werden.

Der innere Widerstand hängt von der Temperatur des Elektrolyts ab; erhöht sich diese von 8 auf 24° C, so sinkt der Widerstand um $^1/_3$. Im allgemeinen nimmt er mit dem Alter der Elemente zu. So steigt der Widerstand mit der Gebrauchszeit in Ruhestromelementen bis auf etwa 7 Ohm und in Arbeitsstromelementen bis auf etwa 10 Ohm, häufig noch höher; als Durchschnittswert kann man 8 Ohm annehmen.

d) Kapazität. Die gesamte Strommenge, die ein Kupferelement abgibt, wenn es drei Arbeitsstromleitungen 200 Tage lang mit 0,02 AS täglich speist,

[1]) Archiv f. P. u. T. 1902, S. 399.

beträgt 3 × 200 × 0,02 = 12 AS. Bei Belastung mit einer schwach benutzten Arbeitsstromleitung und einer Gebrauchsdauer von 400 Tagen werden 0,01 × 400 = 4 AS abgegeben. Eine Ruhestrombatterie liefert für eine einzelne Leitung in drei Monaten 1/4 × 365 × 0,35 = rund 32 AS.

e) **Beschaffungskosten.** Der Preis einer Zelle in der bei der Reichs-Telegraphenverwaltung gebräuchlichen Form beträgt 0,90 *M* und setzt sich folgendermaßen zusammen:

Glasgefäß	0,25 *M*
Bleiplatte, 0,5 kg	0,30 „
Zinkring, 0,7 kg	0,30 „
0,015 kg (15 g) Zinkvitriol zu 0,5 *M*	0,01 „
Durchschnittlich 0,05 kg (50 g) Kupfervitriol zu 0,6 *M*	0,03 „
Zusammen 0,89, auf 0,90 *M* abgerundet.	

Wenn die Blei- und Zinkelektroden im eigenen Betriebe unter Benutzung von Altmaterial, z. B. Bleimänteln von Kabeln und Zink aus unbrauchbaren Trockenelementen, gegossen werden, stellt sich der Preis bedeutend niedriger.

f) **Unterhaltungskosten.** Die jährlich aufzuwendenden Unterhaltungskosten[1]), soweit sie von der Stärke der Benutzung annähernd unabhängig sind, betragen für 1 V:

Wartung, für je 3000 bis 4000 Zellen 1 Menschenkraft, mithin für 1 Zelle	0,40 *M*
Erneuerung von Gläsern und Bleielektroden	0,01 „
Verzinsung des Anlagekapitals mit 4 Proz. und Tilgung in 10 Jahren[2]). Element 0,90 *M*, anteilige Kosten des Batteriegestells 0,40 *M*, $\frac{12 \times 1{,}30}{100}$	0,16 „
Materialverbrauch durch Lokalaktion und ungenügende Isolation, a) Kupfervitriol täglich 0,001 kg (1 g) zu 0,6 *M* 0,6 × 0,001 × 365	0,22 „
b) Zink, täglich 0,001 kg (1 g) zu 0,4 *M* = 0,4 × 0,001 × 365	0,15 „
Falls die Zinkringe aus Altmaterial hergestellt werden, ist der Preis niedriger.	
Zusammen	0,94 *M*
Davon ab der Verkaufswert der durch Lokalaktion gebildeten, später wieder zu gewinnenden Kupferniederschläge	0,04 „
Bleiben	0,90 *M* [3])

Für Sprechstellen sind nach Spalte 13 der Zusammenstellung 10 Zellen nötig. Für diese treten zu den allgemeinen Unterhaltungskosten von jährlich 9 *M* (Spalte 19) noch folgende Ausgaben hinzu:

Für zurückzulegende Wege der Unterbeamten, Zeitverbrauch je 1/2 Stunde zu 0,15 *M*, bei monatlich fünfmaliger Besichtigung usw. jährlich 0,15 × 5 × 12	9 *M*
Für Beförderung der Elemente bei der Auswechselung jährlich	1 „
Zusammen	10 *M*.

[1]) Siehe auch E. T. Z. 1893, S. 287. — [2]) Verzinsung und Tilgung = $100 \cdot 1{,}04^n \cdot \frac{0{,}04}{1{,}04^n - 1} = \frac{4}{1 - 1/1{,}04^{10}}$ = 12 Proz. — [3]) Die jährlichen Unterhaltungskosten werden für den Betrieb der englischen Postverwaltung (s. Herbert, Telegraphy 1907, S. 42) mit 1 bis 1,50 *M* und für denjenigen der württembergischen Verwaltung (s. Hassler, Der Staats- und Eisenbahntelegraph, S. 21) mit 2 *M* angegeben. Bei der Western Union Telegraph Co. in New York betragen sie 1 *M*. Diese Summen schließen anscheinend die Ausgaben für Stromkosten ein.

g) Stromkosten. Gegenüber dem verhältnismäßig hohen, durch Lokalaktion verursachten nutzlosen Materialverbrauch ist der Aufwand für die Stromerzeugung gering. In der nachstehenden Übersicht sind die Gewichte und Preise für 1 AS nach dem Faradayschen Gesetze berechnet; der Wert des bei der Stromerzeugung gewonnenen Kupfers ist mit negativem Vorzeichen angegeben. Die Lösung des gewonnenen Zinkvitriols ist als wertlos angesehen.

Kosten einer AS im Kupferelement.

Verbrauchte Materialien	Atomgewichte	Für 1 AS werden verbraucht g	Preis für 1 g ℳ	Preis im ganzen ℳ
$CuSO_4 + 5\,aq$. (mit 5 Teilen Kristallwasser)	Cu = 63 $SO_4 = 32 + (4 \times 16) = 96$ $5H_2O = 5(2 + 16) = 90$ 249	$249 \times \frac{0,0373}{2} = 4,64$	0,0006	0,0028
Zn	65	$65 \times \frac{0,0373}{2} = 1,21$	0,0004	0,0005
				0,0033
— Cu	63	$-63 \times \frac{0,0373}{2} = -1,18$	0,001	— 0,0012
				zus. **0,002**

Während danach die Kosten der Stromerzeugung ziemlich niedrig sind, läßt sich das Kupferelement doch nicht für größere Stromleistungen verwenden, weil dazu wegen des inneren Widerstandes eine sehr große Anzahl von Zellen erforderlich sein würde, deren Unterhaltungskosten den Strompreis stark erhöhen. Bei der Reichs-Telegraphenverwaltung stellt sich der Gesamtpreis einer KWS[1]) für den Ruhestrombetrieb auf 7,20 ℳ[2]) und für den Arbeitsstrombetrieb auf 42 ℳ[3]). Aus Spalte 23 der Zusammenstellung ergeben sich für 1 KWS $64 \times 1000/24 \times 365 = 7,30$ ℳ und $23 \times 1000/365 = 63$ ℳ. Der Unterschied beim Arbeitsstrombetrieb erklärt sich daraus, daß in der Berechnung schwächere Belastungen der Batterien angenommen und die Bedienungskosten höher angesetzt sind.

Für die Mikrophonkreise der Sprechstellen kommt das Kupferelement jetzt nicht mehr in Betracht, weil die Unterhaltung sehr hohe Kosten verursachen würde. Dagegen läßt es sich mit Vorteil für Amtsmikrophone verwenden, für gemeinschaftliche Mikrophonbatterien jedoch nur mit Pufferbatterie (Kosten s. S. 44).

2. Kohlenelement.

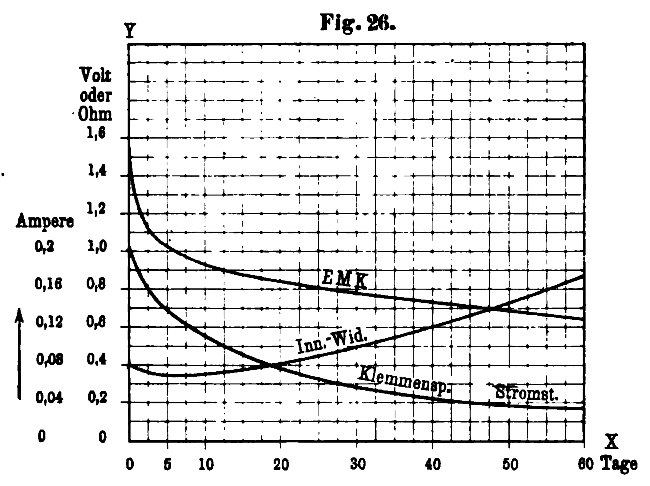
a) Chemischer Vorgang. Das Kohlenelement enthält Kohle (C) und Zink (Zn) in Salmiaklösung (NH_4Cl). Als Depolarisator dient Braunstein (Mangansuperoxyd, MnO_2), der in der älteren Form des Elements die Kohle in einem porösen Tonbecher umgibt, in der neueren Form aber der Kohle beigemischt wird. Der chemische Vorgang ist folgender:

$$\longrightarrow Zn \longrightarrow \Big| \longleftarrow 2\,Cl' \qquad \Big|\ C$$
$$2\,NH_3,\ 2\,H^{\cdot} \longrightarrow \Big|\ MnO_2$$
$$\longleftarrow$$

[1]) KWS = Kilowattstunde = 1000 Wattstunden = 1000 Volt-Ampere-Stunden. — [2]) Archiv f. P. u. T. 1901, S. 468. — [3]) E. T. Z. 1893, S. 287.

Das Zink verbindet sich mit dem Chlor (Cl) des Salmiaks, das dabei seine negative Ladung abgibt. Das frei werdende Ammonium (NH_4) spaltet sich in freies Ammoniak (NH_3), das sich in Wasser löst, und Wasserstoff (H), der zur Kathode wandert und dort durch den Sauerstoff (O) des Braunsteins unter Bildung von Wasser (H_2O) und Abgabe der positiven Ladung gebunden wird. Das Mangansuperoxyd (MnO_2) wird dabei in Manganoxyd (Mn_2O_3), das keinen Sauerstoff mehr abgeben kann, verwandelt. Das Manganoxyd ergänzt sich aber langsam durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Flüssigkeit wieder zu MnO_2. Wesentlich unterstützt wird die Depolarisation dadurch, daß ein Teil des Wasserstoffs in Gasform aus der Zelle entweicht, und daß die Flüssigkeit während der Ruhepausen immer wieder Sauerstoff aufnimmt Vielfach wird sogar eine Bindung des Wasserstoffs durch die Kathode bezweifelt und angenommen, daß sie nur durch ihre große Oberfläche dem Wasserstoff Gelegenheit gebe, mit der sauerstoffhaltigen Flüssigkeit in reich-

Fig. 26.



liche Berührung zu treten. Eine stark depolarisierende Wirkung kann der Kohle-Braunsteinzylinder sicher nicht ausüben, da er 12 bis 14 Stunden lang einer Glühhitze von mehr als 1000° ausgesetzt gewesen ist und den größten Teil seines Sauerstoffs verloren hat [1]).

Die mangelhafte Depolarisation und die Fähigkeit, sich während der Ruhe wieder zu erholen, sind für die Verwendungsweise des Kohlenelements von großer Bedeutung. Es ist nicht für dauernde Stromentnahme geeignet, wohl aber für einen Betrieb mit Unterbrechungen, wie z. B. Speisung von Sprechstellen-Mikrophonen, Weckbetrieb und andere Arten von schwachem Arbeitsstrombetriebe.

b) Der **Verlauf der EMK** ist für eine Zelle, die viertelstündlich drei Minuten lang über einen Widerstand von 5 Ohm geschlossen wurde, in **Fig. 26** dargestellt. Die Entladung hat 60 Tage gedauert. Der Abstand zweier Teilstriche der Linie 0—X entspricht einem Zeitraum von fünf Tagen. Für jeden beliebigen Punkt dieser Linie ergibt der Abstand bis zum Schnittpunkte mit der EMK-Kurve den gesuchten Wert in Volt nach der Einteilung,

[1]) Archiv f. P. u. T. 1892, S. 480.

die an der dazu senkrechten Linie $0-Y$ vermerkt ist. Die EMK beträgt bei Beginn der Entladung annähernd 1,6 V, sinkt aber schnell auf 0,9 V und fällt später langsam ab bis auf 0,6 V, der Unterschied zwischen dem Anfangs- und dem Endwert beträgt 63 Proz., ist also größer als bei den anderen Elementen (Spalte 4 der Übersicht).

c) **Der innere Widerstand** ist in der Zeichnung in derselben Weise wie die EMK dargestellt. Er ist bei den neueren Formen der Elemente mit Zinkring sehr klein und steigt während der Benutzung von etwa 0,4 bis zu 1 Ohm. Elemente mit Zinkstab haben 1,3 bis 1,5 Ohm Widerstand.

Die Veränderung der EMK und des inneren Widerstandes werden verursacht durch Verbindungen von Chlorzink und Ammoniak, die sich aus dem Wasser abscheiden und beide Elektroden bedecken. Nach drei bis vier Monaten ist die Schicht so stark geworden, daß das Element gereinigt werden muß.

d) Die **Klemmenspannung**, die bei jeder Prüfung zwei Minuten nach Stromschluß gemessen ist, beträgt durchschnittlich 0,35 V und weicht, wie Fig. 26 zeigt, erheblich von der EMK mit 0,83 V Durchschnittswert ab. Durch den inneren Widerstand wird bei einer mittleren Stromstärke von $0{,}35/5 = 0{,}07$ A und einem durchschnittlichen Widerstande von 0,7 Ohm nur ein Spannungsabfall von $0{,}07 \times 0{,}7 = 0{,}05$ V verursacht. Der Hauptteil des Spannungsverlustes von $0{,}83 - 0{,}35 = 0{,}48$ V ist daher auf die Polarisation zurückzuführen. Um einen Vergleich mit den konstanten Elementen zu ermöglichen, kann man sich die Polarisation durch einen in derselben Weise die Spannung vermindernden inneren Widerstand ersetzt denken. Es würde dann $0{,}48 - 0{,}05 = 0{,}43$ V Spannungsverlust bei einer durchschnittlichen Stromstärke von 0,07 A einem Widerstande von $0{,}43/0{,}07 = 6$ Ohm entsprechen (Spalte 9 der Übersicht).

e) **Kapazität.** Die Schaulinie der Klemmenspannung läßt sich zugleich zur Ermittelung der Stromstärke mitbenutzen. Die entsprechenden Werte in Ampere sind an der Linie $0-Y$ angegeben. Während der 60-tägigen Benutzung ist 288 Stunden lang Strom geliefert worden, mithin bei einer mittleren Stromstärke von 0,07 A im ganzen $288 \times 0{,}07 = 20$ AS[1]). Entsprechend der durchschnittlichen Klemmenspannung von 0,35 V beträgt die Energieabgabe: $20 \times 0.35 = 7$ WS.

f) Die **Beschaffungskosten** eines Kohlenelements mit Zinkblechring und Kohle-Braunsteinzylinder belaufen sich auf 1 ℳ, nämlich:

Glasgefäß	0,25 ℳ
Zinkblechring, 0,3 kg	0,20 „
Kohle-Braunsteinzylinder	0,50 „
Polklemmen und Zubehör	0,06 „
0,025 kg (25 g) Salmiak zu 0,4 ℳ	0,01 „
Zusammen rund	1,00 ℳ

g) Die **jährlichen Unterhaltungskosten** lassen sich für eine Zelle wie folgt ansetzen:

1) Bestätigt durch Archiv f. P. u. T. 1893, S. 444.



Wartung, für je 8000 beim Amte aufgestellte Elemente 1 Menschenkraft, mithin für 1 Zelle . . . . 0,15 ℳ
Erneuerung von Gläsern usw. . . . . 0,01 „
Verzinsung des Anlagekapitals von 1 ℳ für die Zelle und 0,40 ℳ anteiligen Gestellkosten mit 4 Proz. und Tilgung in 10 Jahren, zusammen jährlich 12 Proz. = $^1/_{100} \times 12 \times 1{,}40$ . . . . 0,17 „
Zinkverluste durch Lokalaktion und schlechte Isolation täglich 0,5 g (1 kg zu 0,4 ℳ) . . . . 0,07 „

Zusammen rund 0,40 ℳ [1])

Für eine Sprechstelle sind zur Erzeugung von 0,15 A Strom 12 Kohlenelemente erforderlich. Außer den allgemeinen Unterhaltungskosten erfordern diese jährlich:

Für zurückzulegende Wege der Unterbeamten von je $^1/_2$ Stunde zu 0,15 ℳ bei monatlich zweimaligem Nachfüllen von Wasser usw., $0{,}15 \times 2 \times 12$. 4 ℳ
Für Beförderung der 12 Elemente bei der Auswechselung . . . . 1 „

Zusammen 5 ℳ

h) Stromkosten. Unmittelbar werden für die Stromerzeugung im Kohlenelemente Salmiak und Zink verbraucht, deren Gewichte und Kosten nachstehend berechnet sind:

Kosten einer AS im Kohlenelement.

Verbrauchte Materialien	Atomgewichte	Für 1 AS werden verbraucht g	Preis für 1 g ℳ	Preis im ganzen ℳ
NH_4Cl	$NH_4 = 14 + 4 = 18$ $Cl = \quad = 35$ 53	$53 \times 0{,}0373 = 2$	0,0004	0,0008
Zn	65	$65 \times \frac{0{,}0373}{2} = 1{,}21$	0,0004	0,0005
			zusammen	**0,0013**

Wie die in der vierten Ausschlagtafel aufgeführten Beträge zeigen, kommt das Kohlenelement etwa dem Kupferelement an Leistungsfähigkeit und Kosten gleich. Die Angaben beziehen sich aber lediglich auf einen Betrieb mit Unterbrechungen. Hauptsächlich ist das Kohlenelement früher viel für Sprechstellen-Mikrophone verwendet worden, wo seine Wartung bedeutend weniger Kosten verursacht als diejenige des Kupferelements. Auch für den Weckbetrieb hat es bei Sprechstellen und Vermittelungsämtern gedient. In einem schwachen Arbeitsstrombetriebe arbeitet es billiger als das Kupferelement.

3. Trockenelement.

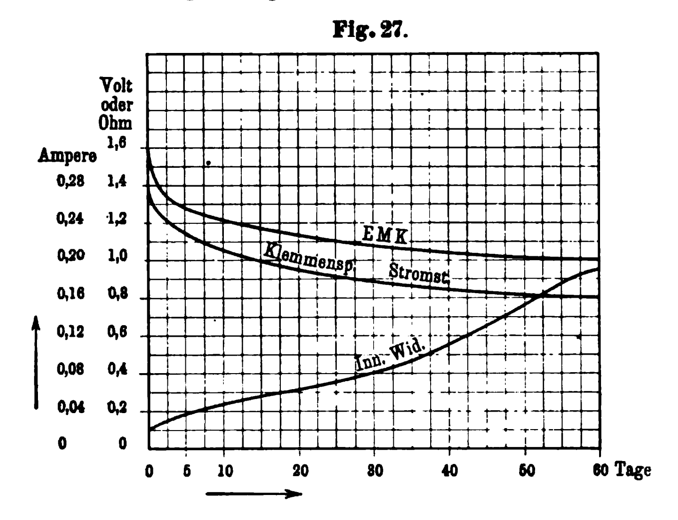
Die Trockenelemente unterscheiden sich von den übrigen Primärelementen dadurch, daß sie die für die Stromerzeugung erforderlichen Bestandteile, darunter das Elektrolyt, in Form einer Paste, betriebsfertig enthalten. Manchen Elementen ist das Elektrolyt als trockenes Pulver beigegeben, das erst vor der Inbetriebnahme durch Einfüllen von Wasser wirksam gemacht wird.

[1]) Bei der englischen Verwaltung betragen die gesamten Kosten der Bedienung und Unterhaltung jährlich 0,50 ℳ. Herbert, Telegraphy 1907, S. 42.

a) **EMK.** Die Trockenelemente haben meist dieselbe Zusammensetzung wie das Kohlenelement und gleichen diesem daher auch in ihren Eigenschaften. **Fig. 27** stellt das Verhalten der EMK, des inneren Widerstandes und der Klemmenspannung bei einem viertelstündlichen, drei Minuten dauernden Stromschluß über einen Widerstand von 5 Ohm für ein gutes Trockenelement dar. Bei einer Vergleichung der Fig. 26 und 27 ergibt sich ohne weiteres, daß die EMK des Trockenelements bedeutend langsamer abnimmt, als diejenige des Kohlenelements. Sie sinkt bei einer 60-tägigen Benutzung von 1,6 bis auf 1 V und hat einen Durchschnittswert von 1,1 V.

b) Der **innere Widerstand** wird hauptsächlich durch Austrocknung der Füllmasse erhöht. Da die Elemente im Betriebe erheblich länger als 60 Tage benutzt werden, ist die Widerstandszunahme durch Austrocknung meist stärker, als die Fig. 27 erkennen läßt. Die aus dem Betriebe zurückgezogenen Elemente zeigen oft große Verschiedenheiten in ihren Widerständen;

Fig. 27.



als durchschnittlicher Höchstwert lassen sich 5 Ohm ansetzen, wie auch in Spalte 6 der Übersicht angegeben ist. Der mittlere Wert des inneren Widerstandes beträgt dann 1,5 Ohm.

c) Die **Klemmenspannung** fällt nach Fig. 27 von annähernd 1,4 V bis auf 0,8 V ab. Eine geringere Spannung als 0,7 V würde für den Mikrophonbetrieb, wenn er gut sein soll, nicht mehr ausreichen. Die Werte der Klemmenspannung sind wie beim Kohlenelement etwa zwei Minuten nach Stromschluß gemessen, sobald die Polarisation voll zur Geltung gekommen war. Aus den Zahlen für die Klemmenspannung ergibt sich durch Teilung mit 5 (5 Ohm Widerstand) die Stromstärke, deren Werte mithin aus derselben Schaulinie unter Benutzung der an der linken Seite angegebenen Werte abgelesen werden können. Nach der Zeichnung beträgt der Unterschied zwischen der EMK und der Klemmenspannung etwa 0,2 V und der innere Widerstand durchschnittlich 0,5 Ohm. Der durch den Widerstand verursachte Spannungsverlust ist bei einer mittleren Stromstärke von 0,19 A $= 0{,}19 \times 0{,}5 = 0{,}1$ V. Mithin entfallen $0{,}2 - 0{,}1 = 0{,}1$ V Verlust auf

die Polarisation, die danach durch einen Widerstand von 0,5 Ohm ersetzt werden kann.

d) **Kapazität.** Die Stromabgabe beträgt in 60 Tagen bei einer täglichen Beanspruchung von 288 Minuten : 288 × 60 × 0,19/60 = 55 AS. Im Betriebe wird aber bei längerem Stehen der Zellen dieser Betrag durch Selbstentladung und Austrocknung herabgesetzt. Ein unbenutztes Trockenelement wird nach etwa drei Jahren unbrauchbar. Man kann daher auf 20 Tage einen Verlust von 1 AS rechnen. Für eine Sprechstelle mit täglich 20 Gesprächen von drei Minuten Dauer reicht ein Trockenelement etwa neun Monate aus. Der Stromverbrauch beträgt in dieser Zeit bei 0,15 A Stromstärke 20 × 9 × 30 × 0,15 × 3/60 = 40 AS neben einem Verluste von 15 bis 20 AS. Bei einer Sprechstelle mit mittelstarkem Verkehr steht ein Trockenelement durchschnittlich $1^1/_2$ Jahre, so daß nur die Hälfte der Kapazität = 30 AS nutzbar verbraucht wird [1]).

e) Die **Kosten** eines Trockenelements von der üblichen Größe belaufen sich auf 1,50 bis 2 ℳ. Zieht man davon den Wert des später wieder zu gewinnenden Altmaterials ab, so bleiben durchschnittlich 1,50 ℳ Beschaffungskosten.

Bei einer durchschnittlichen Stromabgabe von 30 AS beträgt der Preis einer AS 1,50/30 = 0,05 ℳ. Er ist höher als bei den anderen Elementen, weil die Teile des Trockenelements bei seiner Erschöpfung bei weitem nicht aufgebraucht sind. Theoretisch berechnen sich die Kosten einer AS wie beim Kohlenelement auf 0,0013 ℳ.

Gegenüber den hohen Stromkosten sind die Unterhaltungskosten des Trockenelements sehr gering, da es keiner Wartung bedarf. Für die Unterhaltung sind jährlich etwa 0,10 ℳ zu rechnen. Da das Trockenelement wegen seines geringen inneren Widerstandes außerordentlich leistungsfähig ist, sind die in Spalte 19 angegebenen jährlichen Kosten so gering, daß sie den hohen Strompreis ausgleichen. Das Trockenelement ist daher im Arbeitsstrombetriebe, wo es trotz seiner Polarisation unter Umständen verwendet werden kann, nicht kostspieliger als andere Primärelemente und übertrifft diese im Mikrophonbetriebe bei weitem.

Bei Teilnehmersprechstellen kostet die Wartung und Auswechselung eines Trockenelements jährlich etwa 0,30 ℳ, die Kosten einer Batterie von zwei Elementen, deren Leistung noch günstiger ist als 0,2 W, betragen jährlich 0,60 ℳ, mithin bedeutend weniger als bei den anderen Primärelementen.

4. Chromsäureelement.

a) **Chemische Vorgänge.** Als Elektroden dienen im Chromsäureelement [2]) Kohle (C) und amalgamiertes Zink (Zn), letzteres meist in einem porösen Tonbecher. Der äußere Raum des Zellengefäßes nimmt eine Kohlenplatte auf, ferner 115 g zerstampftes Kaliumbichromat ($K_2Cr_2O_7$) und ebenso viel Schwefelsäure (H_2SO_4) vom spez. Gew. 1,8. Der Tonbecher enthält außer dem Zinkkolben noch 56 g Quecksilber und wird mit reinem

---

[1]) Die Trockenelemente der englischen Verwaltung haben rund 40 AS. Herbert, Telegraphy, S. 44. — [2]) Archiv f. P. u. T. 1892, S. 654, 687. Herbert, Telegraphy, S. 28.

Wasser unter Zusatz von 8 g Schwefelsäure gefüllt. Durch die Mischung von Schwefelsäure und Kaliumbichromat bildet sich Chromsäure nach der Gleichung:

$$K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + H_2O + 2\,CrO_3$$

$K_2Cr_2O_7$	H_2SO_4	K_2SO_4	H_2O	$2\,CrO_3$
Kaliumbichromat	Schwefelsäure	Kaliumsulfat	Wasser	Chromsäure

Die Wirkungsweise des Elements läßt sich in folgender Weise darstellen:

$3\,H_2^{\cdot\cdot} \rightarrow$ | $2\,O_8,\ 2\,Cr$ ↑ ↑

→ $3\,Zn$ → | ← $3\,(SO_4)''$ | $3\,H_2^{\cdot\cdot},\ 3\,(SO_4)''$ | C →

←

Das Ergebnis des Stromdurchganges ist danach eine Auflösung von Zink und ein Verbrauch von Chromsäure und Schwefelsäure. An Schwefelsäure werden 6 Teile unmittelbar für die Stromerzeugung und 1 Teil zur Bildung der Chromsäure verbraucht.

b) Die **EMK** erreicht zwei bis drei Tage nach dem Ansetzen, wenn die Flüssigkeit in die Kohlenplatte eingedrungen ist, einen Wert von 2,2 V und sinkt dann beim Betriebe allmählich bis auf 1,8 V. Durch eine größere oder geringere Ansäuerung der Flüssigkeiten wird sie wenig beeinflußt. Ihre Abnahme erklärt sich aus den Veränderungen der Elektroden und Flüssigkeiten.

c) Der **innere Widerstand** ist stark von der Art des Tonbechers abhängig. Ist dieser sehr porös, so beträgt der innere Widerstand durchschnittlich 1 Ohm; ein dichter Tonbecher kann den Widerstand bis zu 5 Ohm erhöhen. Bei einer Zunahme der Temperatur von 8 bis zu 24° C sinkt er um $^1/_5$. Ein Wachsen des inneren Widerstandes beim Gebrauch der Elemente wird durch kristallinische Chromverbindungen, die sich auf der Kohlenplatte absetzen, herbeigeführt. Eine weitere Erhöhung tritt dadurch ein, daß Chromsäure und ihre Verbindungen durch die Tonzelle zum Zinkkolben gelangen und diesen mit einer Schlammschicht bedecken. Beim Gebrauch verändert sich die Flüssigkeit sehr stark. Die anfänglich orangerote Chromsäurelösung wird braunviolett oder braun, die Flüssigkeit der Tonzelle dunkelgrün oder braun. Zuletzt werden die Flüssigkeiten auch trübe. Die Elemente müssen dann neu angesetzt werden. Während der Benutzung ist die Unterhaltung sehr einfach, da nur das verdunstende Wasser zu ersetzen ist.

d) **Kapazität.** Die Chromsäureelemente können eine Morseleitung fünf Monate lang und eine Hughesleitung bei täglich fünfstündigem Verkehr sechs Monate und bei achtstündigem Betriebe fünf Monate lang speisen [1]). Daraus ergibt sich eine Kapazität von 1 bis 2 AS. Belastet man die Elemente voll, z. B. mit acht Arbeitsstromleitungen, die täglich 0,02 AS verbrauchen, so liefern sie während einer 100-tägigen Benutzung 16 AS [2]).

e) Die reinen **Kosten einer AS** sind nachstehend nach den Gleichungen unter a) berechnet. Die verbrauchten Mengen sind mit 0,0373/6 vervielfacht, weil 6 H erzeugt werden.

[1]) Archiv f. P. u. T. 1892, S. 654, 687. — [2]) Im Betriebe der englischen Postverwaltung beträgt die Kapazität 20 AS. Herbert, Telegraphy, S. 44.

Kosten einer AS im Chromsäureelement.

Verbrauchte Materialien	Atomgewichte	Für 1 AS werden verbraucht g	Preis für 1 g ℳ	Preis im ganzen ℳ
$K_2Cr_2O_7$ . . .	$K_2 = 39 \times 2 = 78$			
	$Cr_2 = 52{,}5 \times 2 = 105$			
	$O_7 = 16 \times 7 = 112$			
	295	$295 \times \frac{0{,}0373}{6} = 1{,}8$	0,0012	0,0022
$7\,H_2SO_4$ . . .	$H_2 = 2$			
	$S = 32$			
	$O_4 = 64$			
	$98 \times 7 = 686$	$686 \times \frac{0{,}0373}{6} = 4{,}3$	0,00012	0,0005
3 Zn	3×65	$3 \times 65 \times \frac{0{,}0373}{3 \times 2} = 1{,}21$	0,0004	0,0005
			zusammen	**0,0032**

Bei Elementen mit nur einer Flüssigkeit sind die Stromkosten höher.

Der Preis der Schwefelsäure ist nach folgender Berechnung angesetzt: Es kostet 1 Liter 87-proz. Schwefelsäure von 1,8 spez. Gew. 0,2 ℳ und danach 1 g wasserfreie Säure 0,2 × 100/1,8 × 87 × 1000 = 0,000 12 ℳ.

Geht man davon aus, daß jedes Element mit 115 g Schwefelsäure beschickt wird, so ergibt sich eine Leistung von 115/4,3 = 27 AS. Nach der vorstehenden Berechnung sind für 4,3 g reine Schwefelsäure nur 1,8 g Kaliumbichromat erforderlich, mithin werden für 115 g Säure von 87 Proz. gebraucht 1,8 × 115 × 100/4,3 × 87 = 56 g Salz. Der beim Ansetzen hinzugefügte Überschuß an Kaliumbichromat diffundiert nutzlos durch die Tonzelle. Danach ist der Strompreis höher anzusetzen, als die Berechnung ergibt. Bei einer Kapazität von 16 AS verbraucht das Element 16 × 1,21 = 20 g Zink. Dazu kommen für Lokalaktion monatlich 15 g Zink, mithin in drei Monaten 45 g, so daß im ganzen rund 70 g Zink verbraucht werden. Der Gesamtverbrauch beträgt dann:

Material	Menge g	Preis für 1 g ℳ	Preis im ganzen ℳ
Kaliumbichromat	115	0,0012	0,138
Schwefelsäure, 87 Proz. . .	115 + 8	0,00011	0,014
Zink	70	0,0004	0,028
	für 16 AS zusammen		0,18
	mithin für 1 AS . . .		**0,011**

In Spalte 17 der Übersicht sind für Unterhaltung 2 ℳ angesetzt[1]).

Das Chromsäureelement unterscheidet sich von anderen Primärelementen durch seine hohe EMK und seinen geringen inneren Widerstand und ist

[1]) In England kostet die jährliche Unterhaltung und Beschickung eines Chromsäureelements 2,25 bis 2,50 ℳ. Herbert, Telegraphy, S. 42.

infolgedessen bedeutend leistungsfähiger als jene, z. B. für die Kabeltelegraphie und den Betrieb von Maschinentelegraphen, für den es in England (als Fuller-Element) vielfach verwendet wird. In Amerika sind für solid-back-Mikrophone zwei Zellen in Hintereinanderschaltung benutzt worden [1]). Die zur Erzeugung von 0,15 A erforderlichen beiden Zellen verursachen dort höchstens so viel besondere Kosten wie die Kohlenelemente, nämlich 5 ℳ jährlich. In Deutschland wird das Chromsäureelement namentlich infolge der Einführung der Sammler nicht mehr gebraucht.

5. Kupferoxydelement.

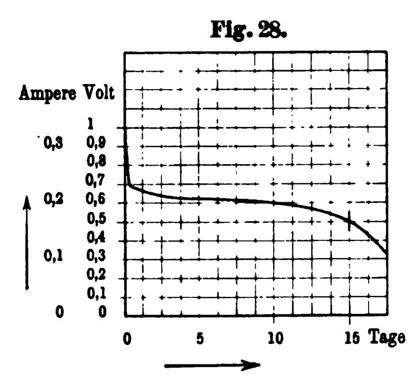
a) **Chemischer Vorgang.** Die Elektroden des Kupferoxydelements sind Zink (Zn) und Kupferoxyd (CuO), von denen die letztere zugleich als Depolarisator wirkt. Zur Füllung dient wässerige, etwa 25-proz. Natronlauge (NaOH) oder Kalilauge (KOH). Diese muß gegen die Kohlensäure der Luft gut abgeschlossen werden, weil sie sich sonst zersetzt. Meist geschieht der Abschluß durch eine aufgegossene Schicht Paraffinöl oder einen luftdicht schließenden Deckel.

Der Vorgang bei der Stromerzeugung ist folgender:

$$\rightarrow Zn \rightarrow | \leftarrow 2(NaO)', \; 2H^{\cdot} \rightarrow | OCu \quad \leftarrow \cdot\cdot$$

Das Zink verdrängt den Wasserstoff (H) aus der Natronlauge und bildet Zinkoxydnatrium. Der Wasserstoff wandert nach der Kathode und wird dort durch den Sauerstoff (O) unter Bildung von Wasser (H_2O) gebunden. Das Kupferoxyd geht zuerst in Kupferoxydul (Cu_2O) und schließlich durch völlige Abgabe seines Sauerstoffs in Kupfer (Cu) über. Durch Erhitzen an der Luft läßt es sich leicht und schnell wieder in Kupferoxyd verwandeln. Ein Zinkverbrauch findet nicht nur während der Stromerzeugung, sondern auch während der Ruhe statt. Namentlich wird die Kathode an ihrer Befestigungsstelle leicht zerstört.

Fig. 28.



b) Den Verlauf der **EMK** in einem Elemente neuerer Art von Wedekind [2]) bei dauernder Entladung über 3 Ohm Widerstand stellt **Fig. 28** dar. Die EMK fällt sogleich auf 0,7 V ab, sinkt dann langsam bis auf 0,5 V und nimmt schließlich schneller ab. Für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb könnte nur die Spannung von 0,7 bis 0,5 V in Betracht kommen. Die Abnahme der EMK ist durch die Veränderungen der Flüssigkeit und der Kathode bedingt. Die amalgamierte Anode bleibt verhältnismäßig rein.

c) Der **innere Widerstand** ist von der Größe der Zellen abhängig, jedoch in allen Fällen klein. Auch die Polarisation ist gering. Daher

---

[1]) Kempster B. Miller, Telephone Practice, S. 93. — [2]) E. T. Z. 1906, S. 27.

ist der Spannungsverlust innerhalb des Elements zu vernachlässigen und die Schaulinie der EMK zugleich zur Ermittelung der Stromstärke zu benutzen.

d) Die **Kapazität** des Kupferoxydelements wechselt mit seiner Größe. In Fig. 28 ist eine 15-tägige Entladung mit durchschnittlich 0,2 A Stromstärke und 15 × 24 × 0,2 = 75 AS Stromabgabe dargestellt.

e) **Kosten.** Für eine Wedekindsche Zelle von 75 AS sind unter Berücksichtigung des während der Erhitzung des Elements einzustellenden Ersatzes 20 ℳ Beschaffungskosten zu rechnen.

Die Unterhaltungskosten eines Elements lassen sich für 1 Jahr veranschlagen auf:

Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals für die Zelle, sowie für die Heizungs- und Aufstellungseinrichtungen	2,00 ℳ
Zinkverbrauch durch Lokalaktion (die Zinkelektrode wird leicht an der Befestigungsstelle durchfressen und unbrauchbar)	0,40 „
Bedienung und Erhitzung bei dreimaliger Erneuerung	1,60 „
Zusammen . .	4,00 ℳ.

Trotz dieses hohen Betrages sind die jährlichen Ausgaben für 1 W wegen des geringen inneren Widerstandes der Elemente bedeutend geringer als beim Kupfer- oder Kohlenelement.

Die Stromkosten ergeben sich aus der folgenden Berechnung:

Kosten einer AS im Kupferoxydelement.

Verbrauchte Materialien	Atomgewichte	Für 1 AS werden verbraucht g	Preis für 1 g ℳ	Preis im ganzen ℳ
NaOH	23 + 16 + 1 = 40	40 × 0,0373 = 1,5	0,0008	0,0012
Zn	65	$65 \times \frac{0,0373}{2} = 1,21$	0,0004	0,0005
			zusammen	**0,0017**

Der Preis von 0,0017 ℳ bedarf noch einer Berichtigung, weil nur etwa die Hälfte des NaOH verbraucht wird, wenn die Ausschaltung erfolgt, sobald die EMK auf 0,5 V gesunken ist. Danach erfordert 1 AS:

Für NaOH 2 × 0,0012	0,0024 ℳ
„ Zn	0,0005 „
Zusammen rund . .	0,003 ℳ.

Wegen der niedrigen Spannung des Kupferoxydelements stellen sich die Kosten einer WS höher als bei den meisten anderen Elementen. Sie haben etwa dieselbe Höhe wie beim Chromsäureelement. Dabei ist aber vorausgesetzt, daß die Stromentnahme im Ruhestrombetriebe 1,5 A und im Arbeitsstrombetriebe bis zu 1 A beträgt Für geringere Stromstärken sind die Kosten noch größer.

Da überdies die Spannung des Kupferoxydelements beim Gebrauch stark abnimmt, kann es im Telegraphenbetriebe nicht verwendet werden. Im Fernsprechbetriebe könnte es, wenn ein genügender Strombedarf vorhanden

ist, für Schlußzeichen- und Mikrophonkreise in Frage kommen. Mit einigem Vorteil würde man es aber nur zur Speisung von etwa 10 Mikrophonen benutzen können, jedoch wegen des inneren Widerstandes nicht ohne Pufferbatterie (Kosten s. S. 44). In der Regel wird man aber für diesen Zweck Kupferelemente wegen der einfacheren und gefahrloseren Behandlung vorziehen [1]).

Geeignet ist das Kupferoxydelement zu Pufferbatterien in Mikrophonstromkreisen, da ein Umsetzen nicht erforderlich ist, weil es dauernd in geladenem Zustande erhalten wird. Zur Herstellung des Elements können zwei dünne Kupferbleche in ein Gefäß mit Natronlauge eingestellt werden. Der anfänglich stattfindende Stromdurchgang zersetzt die Flüssigkeit so, daß NaO die Anode oxydiert und H an der Kathode eine Polarisation und Stromsperre bewirkt. Die Gegenspannung des Elements ist für eine Verwendung in Mikrophonkreisen mit 2 V Spannung günstig, da sie sich vollkommen der Betriebsspannung anpaßt.

B. Sekundärelemente (Blei-Sammler [2]).

I. Allgemeines.

a) Wesen der Sammler. Bei großem Strombedarf verursacht die Beschaffung der Elektrizität aus Primärelementen bedeutende Kosten. Man benutzt dann zur Stromerzeugung Dynamomaschinen. Diese liefern aber in den öffentlichen Starkstromnetzen nicht die für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb erforderlichen Spannungen und sind nicht vollkommen betriebssicher, da die umlaufenden Teile der Maschinen leichter beschädigt werden als ruhende Elemente. Zur Vermittelung des Strombezuges verwendet man deshalb häufig Elemente besonderer Art mit geringem Widerstande, die einen gewissen Energievorrat aufnehmen und wieder abgeben können. Da sie nicht Stromquellen im eigentlichen Sinne sind, sondern nur Aufspeicherungs- oder Umsetzungszellen, nennt man sie im Gegensatz zu den Primärelementen: Sekundärelemente oder Akkumulatoren oder Sammler.

Die Aufspeicherung geschieht in der Weise, daß die wirksamen Elektrodenstoffe, die in den Primärelementen betriebsfertig vorhanden sind, in dem Sammler durch den elektrischen Strom erzeugt werden. Es findet dabei eine Umwandlung der elektrischen in chemische Energie statt, ein Vorgang, den man mit „Ladung“ bezeichnet. Bei der Benutzung eines Sammlers erfahren die umgeformten Elektrodenteile, die „aktive“ oder „wirksame Masse“ genannt werden, unter Abgabe elektrischer Energie wieder eine chemische Umwandlung in ihren früheren Zustand, so daß schließlich eine Neuladung erforderlich ist. Die Abgabe der aufgespeicherten Energiemenge nennt man „Entladung“.

[1]) In Amerika wird das Kupferoxydelement vielfach bei Z. B.-Anstalten als Reservestromquelle bereit gehalten. — [2]) Neuere Werke über Sammler: Heim, Die Akkumulatoren für stationäre Anlagen, 1906. — Dr. L. Lucas, Die Akkumulatoren und galvanischen Elemente, 1906. — Dr. W. Bermbach, Die Akkumulatoren, ihre Theorie, Herstellung, Behandlung, Verwendung, 1905. — Dr. Karl Elbs, Die Akkumulatoren. Eine gemeinfaßliche Darlegung ihrer Wirkungsweise, Leistung und Behandlung.

Naturgemäß vollziehen sich die Vorgänge nur bei bestimmten Elektrodenstoffen in der gewünschten Weise. Meist werden für die Sammler Bleielektroden mit einem Elektrolyten von verdünnter Schwefelsäure benutzt. Seit einiger Zeit sind auch andere Sammler, die nach einem von Jungner und Edison angegebenen Verfahren gebaut werden, im Gebrauch. Sie haben positive Platten aus Nickeloxyd und negative aus Eisen mit Beimengungen von Graphit und anderen Stoffen. Die Masse ist in kleinen Taschen aus dünnem, federndem Stahl untergebracht. Als Elektrolyt dient Kalilauge. Die Gefäße bestehen aus vernickeltem Stahlblech. Der Vorzug des Nickel-Eisen-Sammlers besteht hauptsächlich in seinem geringen Gewicht. Er hat aber einen ungünstigen Wirkungsgrad von weniger als 50 Proz. und eine geringe und dazu veränderliche Spannung von 1,5 bis 1 Volt. Der Preis ist sehr hoch. Für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb kommt der Nickel-Eisen-Sammler daher nicht in Betracht.

b) Chemische Vorgänge im Bleisammler. Die im Bleisammler eintretenden chemischen Veränderungen lassen sich an zwei einfachen, in verdünnte Schwefelsäure gestellten Bleiplatten beobachten. Die Platten bedecken sich in kurzer Zeit mit einer dünnen Schicht von Bleisulfat ($PbSO_4$), das durch Einwirkung der Schwefelsäure (H_2SO_4) auf das Blei (Pb) entsteht und die wirksame Masse darstellt. Diese Zelle ist also folgendermaßen zusammengesetzt:

$$PbSO_4 \left| \begin{matrix} H_2SO_4 \\ H_2O \end{matrix} \right| PbSO_4.$$

Wird nun Strom hindurchgeschickt, so tritt eine Wanderung der bei Auflösung der Schwefelsäure in Wasser gebildeten Ionen H_2 und SO_4 ein. Die SO_4-Ionen wandern zur Anode und bilden dort unter Hinzunahme von Lösungswasser Bleisuperoxyd und Schwefelsäure.

Ladungsvorgang an der Anode (+-Platte):

$$PbSO_4 + SO_4 + 2\,H_2O = PbO_2 + 2\,H_2SO_4.$$

Die H-Ionen wandern zur Kathode und verbinden sich dort mit dem SO_4 des Bleisulfats zu Schwefelsäure (H_2SO_4), so daß schließlich eine reine Bleielektrode übrig bleibt.

Ladungsvorgang an der Kathode (—-Platte):

$$PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4.$$

Nach beendeter Ladung ist die Zusammensetzung der Zelle folgende:

$$\overset{+}{PbO_2} \left| \begin{matrix} H_2SO_4 \\ H_2O \end{matrix} \right| \overset{-}{Pb}.$$

Im geladenen Zustande enthält der Sammler somit Bleisuperoxyd als positive Elektrodenmasse und Blei als negative Elektrodenmasse.

Bei der Entladung fließt der Strom in der entgegengesetzten Richtung durch die Zelle wie bei der Ladung. Infolgedessen wandern die H-Ionen zur positiven Platte und bilden dort mit einem Teile des Sauerstoffs Wasser, während das übrigbleibende PbO von der Schwefelsäure des Elektrolyts in Bleisulfat umgesetzt wird.

Entladungsvorgang an der +-Platte:

$$PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2\,H_2O.$$

Die SO_4-Ionen bilden mit dem Blei der —-Platte Bleisulfat.



Entladungsvorgang an der — - Platte:

$$Pb + SO_4 = PbSO_4.$$

Nach der Entladung sind daher dieselben Stoffe wie vor der Ladung vorhanden.

Die chemische Entstehung und Zurückbildung der Stoffe im Sammler kann man durch folgende Gleichung darstellen, die für die Ladung in der einen und für die Entladung in der anderen Richtung zu lesen ist:

$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb = 2PbSO_4 + 2H_2O$$

← Ladung
Entladung →

c) **Volumänderungen an den Elektroden.** Die beim Durchgang von 1 AS Ladungs- oder Entladungsstrom umgewandelten Mengen der wirksamen Masse sind nachstehend nach Gewicht und Ausdehnung berechnet:

Gewichts- und Volumänderungen im Sammler beim Durchgang von 1 AS.

Zustand	Stoffe	1 AS entsprechen g	Spez. Gew.	1 AS entsprechen ccm
Geladen	PbO_2 (+)	$(206 + 2 \times 16) \times \frac{0,0373}{2} = 4,44$	9,4	0,47
	$2H_2SO_4$ (an beiden Platten)	$2(2 + 32 + 4 \times 16) \times \frac{0,0373}{2} = 2 \times 1,83$	1,84	2 × 1
	Pb (—)	$206 \times \frac{0,0373}{2} = 3,84$	11,4	0,34
		11,94		
Entladen	$2PbSO_4$ (an beiden Platten)	$2(206 + 32 + 4 \times 16) \times \frac{0,0373}{2} = 2 \times 5,63$	6,3	2 × 0,9
	$2H_2O$	$2(2 + 16) \times \frac{0,0373}{2} = 0,67$	1	0,67
		11,93		

Die 1 AS entsprechenden Gewichte sind nach dem Faradayschen Gesetze berechnet. Durch Teilung mit dem spezifischen Gewichte ergibt sich die zugehörige Menge in Kubikzentimeter. Wie aus der Berechnung ersichtlich ist, gehen an den Elektroden große Veränderungen vor sich. Bei der Entladung wird an den positiven Platten das Volumen der wirksamen Masse verdoppelt (0,9/0,47) und an den negativen beinahe verdreifacht (0,9/0,34). Auf diese Veränderungen muß sowohl beim Bau als auch bei der Benutzung der Sammler Rücksicht genommen werden. Auch das Elektrolyt bleibt nicht unverändert. Es wird bei der Entladung ärmer an Schwefelsäure, weil diese an den Platten gebunden wird und außerdem eine Wasserbildung stattfindet. Die Säuredichte sinkt danach bei der Entladung und steigt bei der Ladung.

d) **Beschaffenheit der Elektroden.** An dem Ladungs- und Entladungsvorgange nimmt bei gewöhnlichen Bleiplatten nur die Oberfläche, die mit der Säure in Berührung tritt, teil. Durch wiederholtes Laden und Ent-

laden läßt sich aber die oberste Schicht so auflockern, daß sie der Schwefelsäure den Durchgang gestattet. Dieses Mittel benutzte Planté, um durch sogenanntes Formieren größere Teile der Platten der Stromwirkung zugänglich zu machen und durch Vermehrung der wirksamen Masse den Sammlern eine größere Stromaufnahmefähigkeit, „Kapazität", zu verleihen. Das Verfahren erforderte jedoch einen großen Aufwand an Energie und war infolgedessen teuer.

Faure verbilligte die Herstellung der Sammler dadurch, daß er die wirksame Schicht nicht durch den Strom erzeugte, sondern von vornherein in Gestalt von Bleisalzen auf den Platten auftrug Für die positiven Platten verwendet er Mennige (Pb_3O_4) und für die negativen Bleiglätte (PbO). Diese Salze wurden dann bei der ersten Ladung in Bleisuperoxyd und schwammiges Blei umgewandelt. Die Fauresche Platte nennt man wegen der aufgetragenen Masse „Masseplatte" oder „pastierte Platte". Während man die Masseplatte noch jetzt durchweg als negative Platte verwendet, war man dauernd bestrebt, die positive wieder nach Plantéschem Verfahren, jedoch auf billigere Art herzustellen.

Einen Übergang zwischen Faure- und Planté-Platten bilden die nach Tudorschem Verfahren hergestellten positiven Platten, die von der Firma Büsche u. Müller in Hagen i. W. (später Accumulatoren-Fabrik A.-G.) gebaut wurden. Sie ermöglichten eine wesentliche Vergrößerung der wirksamen Oberfläche und eine Erhöhung der Kapazität dadurch, daß sie mit Rippen versehen waren. Sie wurden durch mehrmalige Ladung und Entladung formiert, jedoch nicht so weit, daß sie eine für die Verwendung ausreichende Kapazität erhalten hätten. Diese wurde ihnen vielmehr erst durch Masse, die man in die Rippen einstrich, erteilt. Während nun die Masse beim Betriebe nach und nach herausbröckelte, wurden die obersten Schichten des Bleies allmählich formiert, so daß schließlich eine reine Planté-Platte vorhanden war.

Jetzt werden in der Mehrzahl der Sammler neben negativen Masseplatten von vornherein reine Planté-Platten mit großer Oberfläche benutzt.

II. Aufbau.

1. Die Teile der Sammler und ihre Zusammensetzung.

a) Positive Großoberflächenplatten. Schnellformierung. Seit dem Jahre 1896 hat man ein Verfahren eingeführt, die wirksame Schicht auf den positiven Platten nach Art der Planté-Formierung, jedoch ohne große Kosten, zu erzeugen. Diese Herstellungsweise, die „Schnellformierung", erfordert nur eine einmalige Ladung der aus reinem Blei gegossenen Platten unter Zuhilfenahme von Säuren, die ein in Wasser lösliches Bleisalz bilden, wie z. B. Salpetersäure, Salzsäure, Chlorsäure, Überchlorsäure, Flußsäure u. a. Die Fremdstoffe müssen nach der Formierung gut ausgelaugt werden, weil sie sonst weiter wirken und die Platten schnell zerstören würden. Mit der Auslaugung wird in der Regel eine Entladung oder schwach negative Formierung verbunden. In diesem Zustande können die Platten versandt und eingebaut werden. Die Behandlung positiv geladener Platten wäre schwieriger,

weil durch die Abbröcklung des sich verhärtenden Bleisuperoxyds die Kapazität der Platten vermindert würde [1]).

Da die negativen Platten unformiert geliefert werden, paßt sich ihnen eine entladene positive Platte am besten an. Einer geladenen Platte würde die lange Dauer der Überladung schaden. Die erste Ladung, die zugleich zur Formierung der Platten dient, dauert 30 bis 70 Stunden und soll möglichst ohne Unterbrechung durchgeführt werden.

Für kleinere Sammler, wie z. B. Telegraphenzellen, werden die + -Platten in der Regel mit positiver Formierung verschickt.

Große Oberfläche. Die bei der Schnellformierung erzeugte wirksame Schicht hat nur eine geringe Stärke. Zur Erhöhung der Kapazität vergrößert man nach dem schon von Tudor 1884 verwendeten Verfahren die Oberfläche durch Erhöhungen und Vertiefungen, die meist beim Gießen der Platten und seltener durch nachträgliche Bearbeitung oder Einfügung von bearbeiteten Bändern usw. hergestellt werden. Nach ihrer Bauart nennt man die positiven Platten Großoberflächenplatten.

Verhalten im Betriebe. Das bei den ersten Planté-Platten zur Erhöhung der Kapazität angewendete Weiterformieren findet auch bei den neueren Sammlern im gewöhnlichen Betriebe statt. Das Bleisuperoxyd bildet mit dem darunterliegenden Blei galvanische Elemente, die eine schwache Entladung des Superoxyds und eine Auflockerung des Bleies durch Bildung von Bleisulfat bewirken. Derartige Lokalaktionen treten noch bedeutend stärker auf, wenn das Blei Verunreinigungen enthält, oder wenn Teile der zur Schnellformierung verwendeten Stoffe in den Platten geblieben sind. Die durch Weiterformieren verursachte Zunahme der Kapazität wird dadurch teilweise ausgeglichen, daß die wirksame Masse, obgleich sie mit dem Bleikern kristallinisch verwachsen ist und infolge elektrolytischer Einwirkung daran haftet, in ihren obersten Teilen durch die großen Volumänderungen und die später zu erörternde Gasentwicklung abgebröckelt wird. Sobald der Bleikern bei weiter vorgeschrittener Formierung stellenweise durchfressen ist, beginnt die Platte an Kapazität zu verlieren, um schließlich ganz zu zerfallen. Die abgefallenen Masseteilchen sind insofern schädlich, als sie zuletzt den Raum unterhalb der Platten anfüllen und Kurzschlüsse zwischen den positiven und negativen Platten verursachen. In der Regel tritt der Schlamm zuerst mit den positiven Platten in Berührung, weil diese sich ein wenig nach unten ausdehnen („wachsen"; bei großen Zellen um mehrere Zentimeter). Da dann außer dem Schlamm auch der Bleiblechausschlag der Kästen mit den positiven Platten zusammen arbeitet, nimmt er deren rotbraune Färbung an, wie dies

[1]) Der Staub des Bleisuperoxyds könnte auch dem Personal gefährlich werden, das mit dem Verpacken und dem Aufbau der Sammler zu tun hat. Da alle Bleisalze Vergiftungserscheinungen bewirken, wenn sie in den Magen gelangen, müssen Personen, die mit Sammlern Befassung haben, vor der Einnahme von Speisen ihre Hände gründlich reinigen.

Das Essen in Sammlerräumen ist durch die Betriebsvorschriften (§ 11) des Verbandes Deutscher Elektrotechniker streng verboten.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker hat Vorschriften für die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen (Errichtungsvorschriften) und Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen (Betriebsvorschriften) herausgegeben. E. T. Z. 1907, S. 882 u. 908. Strecker, Hilfsbuch.

auch bei unmittelbaren Berührungen geschieht. Zur Vermeidung von Störungen muß der Bodensatz in Zwischenräumen von einigen Jahren beseitigt werden. Seine Höhe kann man in undurchsichtigen Gefäßen leicht in der Weise messen, daß man ein gerades Glasrohr hineinstößt, dann oben mit dem Finger verschließt und heraushebt.

Die dünne wirksame Schicht der Großoberflächenplatten steht sowohl mit dem Bleikern, als auch mit der Säure in inniger Berührung. Es ist daher eine gute Stromzuleitung vorhanden und eine schnelle Umwandlung der wirksamen Masse möglich. Die Großoberflächenplatten lassen deshalb größere Lade- und Entladestromstärken zu als Masseplatten. Sie werden aus diesem Grunde für große Sammler fast ausschließlich verwendet.

b) Negative (und positive) Masseplatten. Verwendung und Bauart. Die Benutzung der Planté-Platten als negative Elektroden bereitet Schwierigkeiten, weil der auf geladenen Platten erzeugte Bleischwamm nicht fest an dem Bleikern haftet. Einige amerikanische Firmen versuchen die Aufgabe dadurch zu lösen, daß sie die negativen Platten aus dünnen Lamellen zusammensetzen. Vorwiegend werden aber Masseplatten als negative Elektroden verwendet, öfter auch in kleinen Zellen als positive. Die wirksame Masse der Masseplatten muß durch besondere Vorrichtungen am Abfallen gehindert werden. Man streicht sie deshalb in gegossene Rahmen oder fachwerkartige Gitter von Hartblei, das aus Blei mit einem Zusatz von Antimon besteht, ein. Vielfach sind die Gitter so eingerichtet, daß sie die Masse kastenartig umschließen und nur auf beiden Seiten der Platte größere oder kleinere Öffnungen haben.

Masse. Die Masse besteht aus Bleiglätte (PbO) oder einem Gemisch von Bleiglätte und Mennige (Pb_3O_4) oder Bleiacetat. Sie wird mit Schwefelsäure und Zusätzen von Glycerin, Harz, Alkohol oder Magnesium- und Aluminiumsulfat zu einem steifen Brei, einer „Paste“, angerührt und meist in die Gitter eingepreßt. Nach der Herstellungsweise nennt man die Masseplatten auch pastierte Platten. In der Regel vermischt man die Bleisalze mit Stoffen, die sich an den elektrochemischen Vorgängen nicht beteiligen und nur die Aufgabe haben, die Masse porös zu machen oder ein Aufquellen bei der ersten Ladung zu verursachen. Bei der Herstellung findet eine Formierung der Platten nicht statt. Ihre Masse besteht bei der Lieferung zum größten Teil aus Bleisulfat, das erst bei der ersten, länger dauernden Ladung in schwammiges Blei verwandelt wird. Fertig formierte Bleischwammplatten würden sich nicht verschicken lassen, da das fein verteilte Blei bei Berührung mit der Luft oxydiert. Es ist deshalb auch erforderlich, negative Platten, die aus den Sammlern herausgenommen und trocken aufbewahrt oder versandt werden sollen, vorher zu entladen, mit destilliertem Wasser gut abzuspülen und an der Luft zu trocknen. Besser ist es aber in solchem Falle, die Platten geladen in verdünnter Schwefelsäure aufzubewahren.

Chloridplatten. In Amerika und England wird zur Herstellung der Masseplatten vielfach Chlorblei und Chlorzink verwendet, was den Platten den Namen „Chloridplatten“ gegeben hat. Die beiden Stoffe werden zusammengeschmolzen, als kleine Pastillen gegossen und unter hohem Druck in einer Gießform mit einem Hartbleigitter umgeben. Die so hergestellten Rahmen

mit der eingeschlossenen Masse werden in ein Bad von verdünntem Zinkchlorid abwechselnd mit Zinkplatten eingesetzt und mit diesen zu einer kurzgeschlossenen Primärbatterie verbunden. Die durch den Kurzschlußstrom zur Gitterplatte beförderten Zinkionen verbinden sich dort mit dem Chlor zu Chlorzink, das sich auflöst. Ebenso wird das mit dem Chlorblei vermischte Chlorzink von der Flüssigkeit aufgelöst, so daß schließlich ein Rahmen mit lockeren Bleipastillen zurückbleibt. Die Platten werden dann sorgfältig gewaschen und nochmals in Schwefelsäure formiert, damit die letzten Reste des Chlors entfernt werden. Die negativen Chloridplatten setzt man meist mit positiven; nach Plantéschem Verfahren formierten Platten, die aus einem Hartbleirahmen mit eingesetzten Rosetten aus dünnen Bleibändern bestehen, zusammen.

Verhalten im Betriebe. Ähnlich wie die positiven Großoberflächenplatten erleiden auch die negativen Masseplatten eine Veränderung und Kapazitätsabnahme im Betriebe. Die Masse fällt zwar nur selten heraus, verliert aber trotz der Zusätze ihr lockeres Gefüge und wird hart und rissig. Diese Erscheinung, die man mit „Schrumpfen“ bezeichnet, wird offenbar durch den starken Druck, den die Masse bei der Entladung infolge ihrer Ausdehnung auszuhalten hat, herbeigeführt. Man baut deshalb die Masseträger möglichst so, daß sie die Ausdehnung der Masse nicht verhindern. Um einer Abnahme der Gesamtkapazität des Sammlers vorzubeugen, stattet man die negativen Platten meist von vornherein mit einer größeren Kapazität aus, was bei ihrer Bauart als Masseplatten nicht schwierig ist.

Positive Masseplatten. Für kleine Sammler werden Masseplatten oft als positive Elektroden verwendet. Sie werden dann in der Regel bei der Herstellung durch mehrmalige Ladung und Entladung positiv formiert. Gegenüber den Planté-Platten haben sie den Vorzug, daß sie fast ganz aus wirksamer Masse bestehen und deshalb eine große Kapazität besitzen. Sie dürfen aber wegen der Kleinheit der Berührungsfläche zwischen Masse und Masseträger und wegen des geringen Zusammenhalts der Masse nur mit schwachen Strömen belastet werden. Aber auch dann bröckelt die Masse nach und nach aus dem Träger heraus, so daß die Kapazität dauernd abnimmt, bis schließlich nur der leere Rahmen übrig bleibt. Man kann Masseplatten mit einfachem Rahmen schnellstens in 10 bis 12 Stunden und solche mit Gitter in 5 bis 7 Stunden vollständig laden oder entladen, während Großoberflächenplatten einen dreistündigen Betrieb gestatten. Wenn auch im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe die Entladung in der Regel länger als 24 Stunden dauert, so verbietet doch die lange Dauer der Ladung die Verwendung positiver Masseplatten in vielen Fällen.

c) **Zusammenbau.** Gefäße. Als Gefäße zur Aufnahme der verdünnten Schwefelsäure und der Elektroden eignen sich am besten Glaszellen mit rechteckiger Grundfläche. Wenn die Sammler aber nicht ortsfest („stationär“) aufzustellen, sondern zu befördern sind („transportable Sammler“), können die zerbrechlichen Gefäße aus Glas nicht benutzt werden. Man stellt sie dann meist aus Hartgummi oder Zelluloid her. Die Zelluloidzellen, die aus passend geschnittenen Tafeln mittels Aceton zusammengeklebt werden, gestatten eine Besichtigung des Zelleninnern, dürfen aber nach den Vorschriften

des Verbandes Deutscher Elektrotechniker[1]) für Batterien von mehr als 16 V Spannung wegen ihrer Feuergefährlichkeit nicht verwendet werden. Für sehr große ortsfeste Sammler sind ebenfalls Glasgefäße nicht geeignet. Bei einer Kapazität von mehr als 1000 AS benutzt man ausschließlich Holzkästen, die zum Schutze gegen die Säure mit Bleiblech ausgekleidet sind.

Einbau der Platten. Mit der Kapazität der Sammler wächst die Größe und Anzahl der Platten. Die positiven und negativen Platten werden in wechselnder Reihenfolge in die Zellen eingehängt, jedoch so, daß die beiden Endplatten immer negative sind, weil die positiven sich bei einseitiger Beanspruchung verziehen würden. Zum Aufhängen dienen zwei an den Platten sitzende nasenartige Vorsprünge (Fig. 33 u. 35 auf S. 66 u. 67), die sich auf die Oberkante zweier gegenüberliegender Gefäßwände oder in Holzgefäßen auf zwei Glasstützscheiben legen. Die Glasscheiben sind zum Schutze der Bleiblechauskleidung gegen die scharfen Kanten in Bleirinnen gestellt. Die Platten werden durch zwischengestellte vertikale Stäbe aus Glas oder Hartgummi in Abständen von etwa 1 cm voneinander gehalten. Neuerdings stellt man auch vielfach zwischen die Elektroden große Holzplatten, die durch eine besondere Behandlung[2]) chemisch unwirksam und so durchlässig gemacht sind, daß sie den inneren Widerstand nicht erheblich erhöhen. Sie werden durch lang aufgeschlitzte Holzstäbe, die statt der Glasstäbe zwischen den Platten stehen, hindurchgeschoben und verhüten vollkommen jeden Kurzschluß zwischen den Platten. Die Holzplatten dürfen einer Temperatur von mehr als 50° nicht ausgesetzt werden. Wenn daher bei der ersten, länger dauernden Ladung eine stärkere Erhitzung der Zellen eintritt, muß der Ladestrom zeitweilig abgeschaltet werden.

Fig. 29.



Der Plattensatz erhält eine feste Lage und den richtigen Abstand von den Gefäßwänden dadurch, daß die an den Endplatten stehenden Stäbe sich

[1]) Errichtungsvorschriften, § 8e. — [2]) Centralbl. f. Akk. 1906, S. 289.

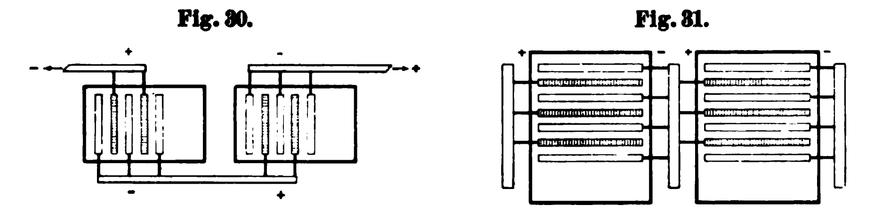
auf der einen Seite gegen Gummipuffer und auf der anderen gegen Federn aus Hartblei legen. Der Abstand der Platten vom Boden muß mehrere Zentimeter betragen, damit die herabgefallene Masse keine Kurzschlüsse verursacht. In großen Zellen bleiben die Platten 10 cm vom Boden entfernt. Die Art des Einbaues von ortsfesten Sammlern wird durch **Fig. 29** veranschaulicht.

Kleine Glas- oder Zelluloidgefäße haben innen meist Nuten oder Ansätze, von denen die Platten gehalten werden. In glatten Glas- oder Hartgummigefäßen benutzt man zum Festlegen Hartgummigabeln oder Taschen aus dünnem gelochten Hartgummi. Die negativen Platten stehen in ungenuteten Gefäßen mit zwei Füßen auf dem Boden. Sie tragen mit Hilfe oben aufgelegter Stäbchen aus Glas oder Hartgummi die positiven Platten an Aufhängeösen. Gefäße mit Nuten haben den Vorteil, daß ihr Innenraum frei und übersichtlich ist. Sie behindern aber die Ausdehnung der Platten und werden daher zuweilen zersprengt.

Kleine Zellen versieht man fast immer mit Deckeln, die das Verspritzen der Schwefelsäure bei der Gasentwicklung verhüten und die Verdunstung des Wassers erschweren. Neuerdings werden auch große Zellen vielfach abgedeckt.

Verbindung der Platten und Zellen. Die negativen und die positiven Platten einer Zelle werden je für sich mit Polfahnen, die auf einer

Fig. 30. **Fig. 31.**



Plattenseite eine Verlängerung der Nase bilden, an Bleileisten angelötet. Die Zusammensetzung der Zellen zu einer Batterie geschieht in der Weise, daß an eine Polleiste immer die positiven Platten einer Zelle und die negativen der folgenden angeschlossen werden. Zu diesem Zwecke stellt man kleine Zellen nach **Fig. 30** mit ihren Platten senkrecht zur Richtung der Reihe und führt die Verbindung als Seitenleiste von einer Zelle zur anderen. Große Zellen werden, wie in **Fig. 31** dargestellt, mit den Platten in die Richtung der Reihe gesetzt und an gemeinsame Mittelleisten angeschlossen. Die letztere Art der Verbindung hat den Vorteil, daß der Strom die Bleileiste nicht der Länge nach, sondern quer durchfließt. Dabei verteilt er sich gleichmäßiger auf alle Platten und gestattet eine schwächere Bemessung der Leiste. Die Bleileisten an den beiden Endpolen einer Batterie tragen hohle Bleiaufsätze, Polschuhe, in die man die Zuleitungen einlötet. Für die kleinen Zellen des Telegraphenbetriebes empfiehlt sich ebenfalls eine verlötete Verbindung mit Bleileisten, Bleistreifen oder verbleiten Kupferdrähten. Eine Verschraubung bedingt in der Regel die Verwendung von Messingteilen, die leicht von der Säure angegriffen werden, auch wenn sie mit Blei überzogen oder mit säurefester Farbe angestrichen sind. In England[1]) verschraubt man die Telegraphensammler untereinander mit Bolzen und Muttern aus einer Bleilegierung.

[1]) Herbert, Telegraphy, S. 466.

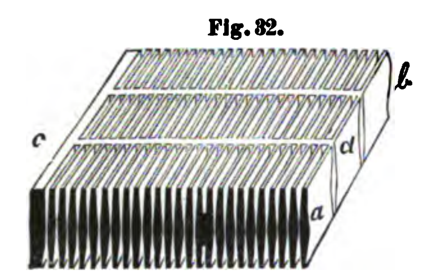
Bei den Sammlern des Fernsprechbetriebes für Mikrophonbatterien ist eine solche Verschraubung nicht möglich, weil dadurch der innere Widerstand erhöht wird.

Die Verlötung der Bleiteile geschieht am besten durch Erhitzen mit einer Gebläseflamme.

2. Beschreibung bestimmter Muster.

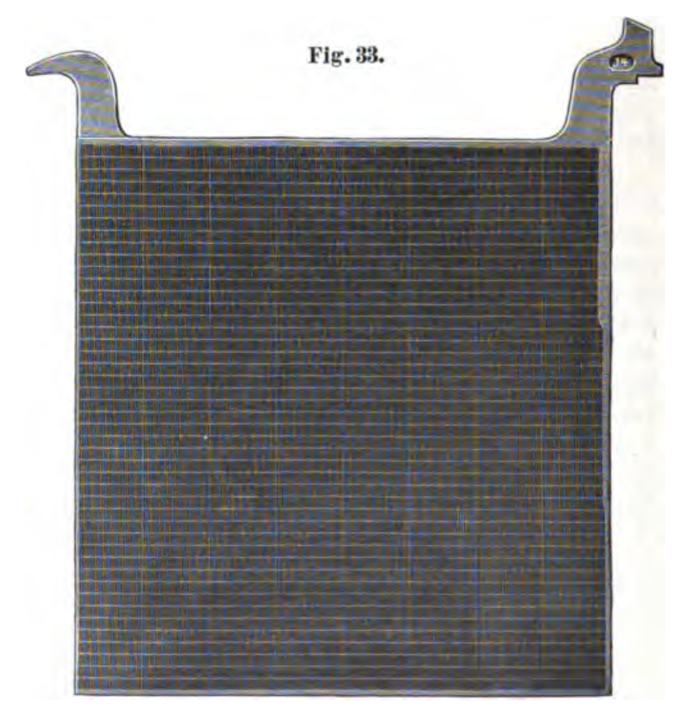
a) Sammler der Accumulatorenfabrik A.-G. Große (ortsfeste) Sammler. Die Fabriken unterscheiden in ihren Preislisten zwischen stationären oder ortsfesten und transportablen oder tragbaren Sammlern. Die ortsfesten Sammler haben eine große Kapazität, wie sie beispielsweise für Beleuchtungszwecke oder für Fernsprechämter erforderlich ist. Die transportablen Sammler sind kleiner; sie werden vielfach im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe zur Deckung geringen Strombedarfs benutzt, erhalten dann aber in der Regel ebenfalls eine feste Aufstellung.

Fig. 32.



Die **Fig. 32** und **33** zeigen den Querschnitt und die Ansicht der für große Sammler benutzten positiven Platte der Accumulatorenfabrik A.-G.

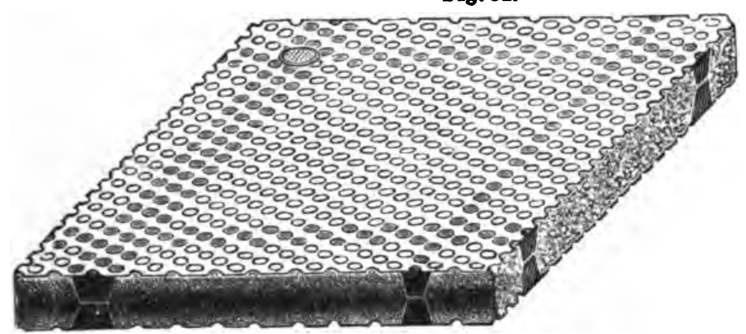
Fig. 33.



Die Längsrippen *a*, *b* werden durch die Querrippen *c*, *d* zusammengehalten. Einen zusammenhängenden Kern besitzen die Platten nicht. Es kann deshalb die gesamte Masse des Bleies nach und nach aufgebraucht werden.

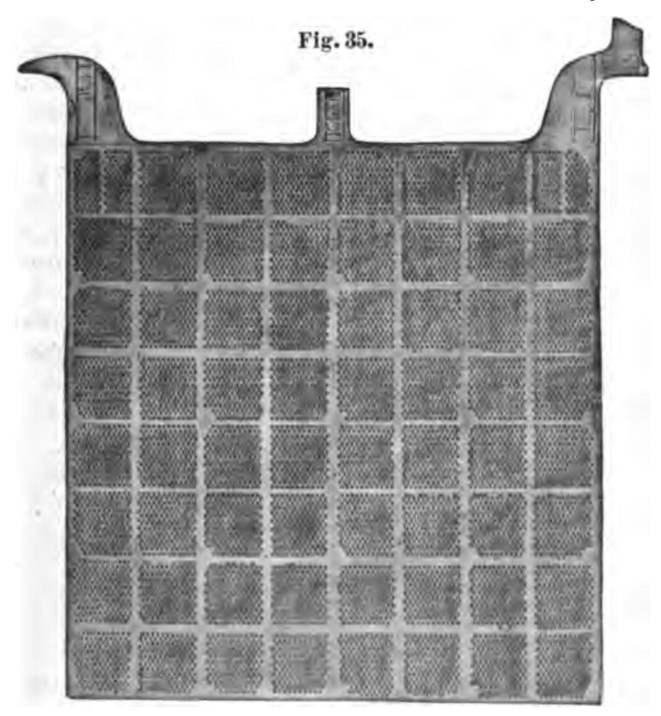
Außerdem gestattet diese Bauart der Flüssigkeit einen freien Durchgang durch die Platte. Die Oberfläche der Platte ist achtmal so groß wie bei einer glatten Platte von gleichen äußeren Abmessungen. Ihre Stärke beträgt 10 mm.

Fig. 34.



Ein Stück einer negativen Platte stellt **Fig. 34** dar; **Fig. 35** zeigt die ganze Platte. Sie besteht aus einem weitmaschigen starken Bleigitter, das auf beiden Seiten mit durchlochtem dünnen Bleiblech abgeschlossen und

Fig. 35.



mit Masse ausgefüllt ist. Das Gitter zeichnet sich in Fig. 35 durch helle Streifen ab. Der so gebildeten kastenartigen Räume wegen hat man den Platten den Namen Kastenplatten gegeben. Die Herstellung erfolgt in der Weise, daß ein Stück durchlochtes Bleiblech in einer Gießform mit einem Rande und den Rippen des weitmaschigen Gitters aus Hartblei versehen wird. Der Raum

wird dann mit Masse lose ausgefüllt und schließlich durch ein daraufgelegtes zweites Bleiblech mit aufgegossenen Rippen abgeschlossen. Die Verbindung der beiden Hälften geschieht durch einige auf dem Unterteil sitzende Stifte, die durch Löcher des Oberteiles hindurchgesteckt und breit gehämmert werden. Bei der ersten Ladung quillt die lose eingeschüttete Masse so auf, daß sie den Raum des Kastens ausfüllt. Die Bauart der Platten ermöglicht einen großen Zusatz solcher Stoffe, die eine Auflockerung bewirken und das Schrumpfen aufhalten, ohne daß dabei ein Herausfallen von Masse möglich ist. Zugleich kann die Masse einen großen Säurevorrat in ihren Poren aufnehmen. Die Dicke der Platten beträgt 8 mm. Die zur ersten Füllung verwendete Schwefelsäure hat 1,18 spez. Gew. bei einer Temperatur von 15°. Im Betriebe soll die oberste Säuredichte 1,20 und die unterste nach vollständiger Entladung 1,18 betragen. Im Jahre 1907 war die oberste Grenze vorübergehend auf 1,25 festgesetzt.

Fig. 36.

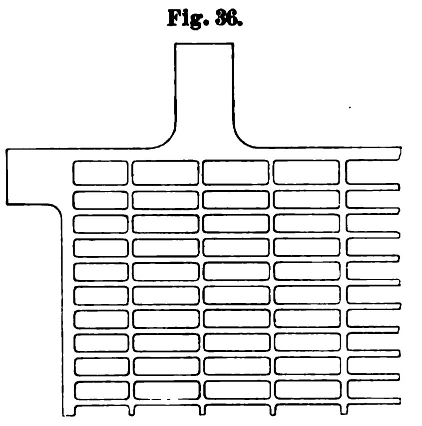
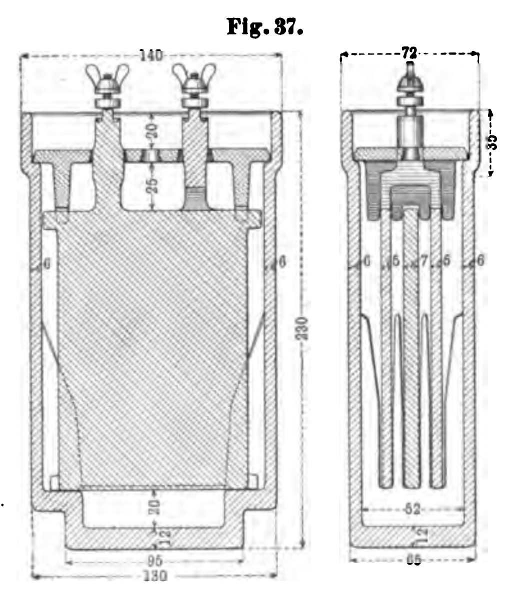


Fig. 37.



Die großen Sammler werden mit Holzbrettern von der Größe der Platten ausgerüstet.

Kleine Zellen für besondere Zwecke. Für solche Zweige des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes, die einen geringen Strombedarf haben, stellt die Accumulatorenfabrik A.-G. kleine Zellen mit festem Einbau her. Als positive Platten werden für diese Sammler ebenfalls Großoberflächenplatten von der in Fig. 32 (s. S. 66) dargestellten Art benutzt. Die Platten haben aber dünnere Rippen und nur eine Stärke von 7 mm. Als negative Elektroden dienen Masseplatten, deren in **Fig. 36** veranschaulichtes Gitter fachwerksartige, an beiden Seiten offene Abteilungen für die Masse enthält.

Das Telegraphenelement I (**Fig. 37**) hat eine positive und zwei schon bei der Herstellung miteinander verbundene negative Platten. Diese ruhen auf einer Verengerung des Glasgefäßes. Sie werden unten durch Nuten der Zellenwand und oben durch kammartige Ansätze des Glasdeckels in ihrer Lage festgehalten. Die Polansätze tragen oben verbleite Messingschrauben

die eine leichte Verbindung der Zellen durch Anschrauben von Verbindungsdrähten ermöglichen und so die Aufstellung vereinfachen. Um das Zerfressen der Schrauben durch hinaufkletternde Säure zu verhüten, hat man die Polansätze mit Rinnen ausgestattet, die Öl oder Vaselin aufnehmen. Eine Beschädigung der Schrauben und Drahtenden durch die säurehaltige Luft kann aber nicht verhütet werden.



Fig. 38.

Die Firma verlötet deshalb zur Vermeidung aller Messing- und Kupferteile bei dem Telegraphenelement II (**Fig. 38**) die beiden negativen Platten einer Zelle mit der positiven Platte der nächsten Zelle, so daß die Sätze fertig verbunden in die Gefäße eingesetzt werden können. Diese enthalten Nuten zum Festhalten der Platten und abnehmbare Deckel aus Glas oder Hartgummi mit einer Öffnung zum Nachfüllen von Flüssigkeit oder zum Messen der Säuredichte. Die Endpole der Batterie werden mit Polklemmen oder eingelöteten verbleiten Kupferdrähten geliefert.

Für den Mikrophonbetrieb dient eine Zelle von 40 AS. Ihr Glasgefäß ist in einem mit säurebeständiger Masse abgedichteten Holzkasten untergebracht.

Die zum Betriebe von Ferndruckern gebauten Zellen der Firma haben Hartgummigefäße, weil sie nicht an der Betriebsstelle geladen werden. Sie sind zu je sechs oder sieben in einen Holzkasten eingebaut.

Nähere Angaben über Kapazität, Größe, Preis usw. der kleinen Zellen enthält die nachfolgende Übersicht:

Kleine Sammler der Accumulatorenfabrik A.-G. für besondere Zwecke.

Type	Garantierte Kapazität in Amperestunden	Höchstzulässige Stromstärke in Ampere bei		Gefäße, Außenmaße in mm	Pro Element			Bemerkungen
		Ladung	Entladung	lang breit hoch	Gewicht, ohne Säure unverpackt kg	Schwefelsäure v. 1,18 spez. Gew. Liter	Listenpreis in ℳ (mit Säure)	
Telegraphensammler I	9 12,5 13,5	2,5	3 1,25 0,9	75 140 230	4	1	6,50	In Glasgefäßen
Telegraphensammler II	9 12,5 13,5	2,5	3 1,25 0,9	50 130 220	3	1	6,00	In Glasgefäßen
Mikrophonsammler mit Holzkasten	40	3	1	130 205 260	7	1,8	20	In Glasgefäßen
Ferndruckersammler *Po* 17/3	24 26	8	8 5,3	57 126 200	3,7	0,8	14,5	6 Hartgummizellen mit gemeinsamem Holzkasten

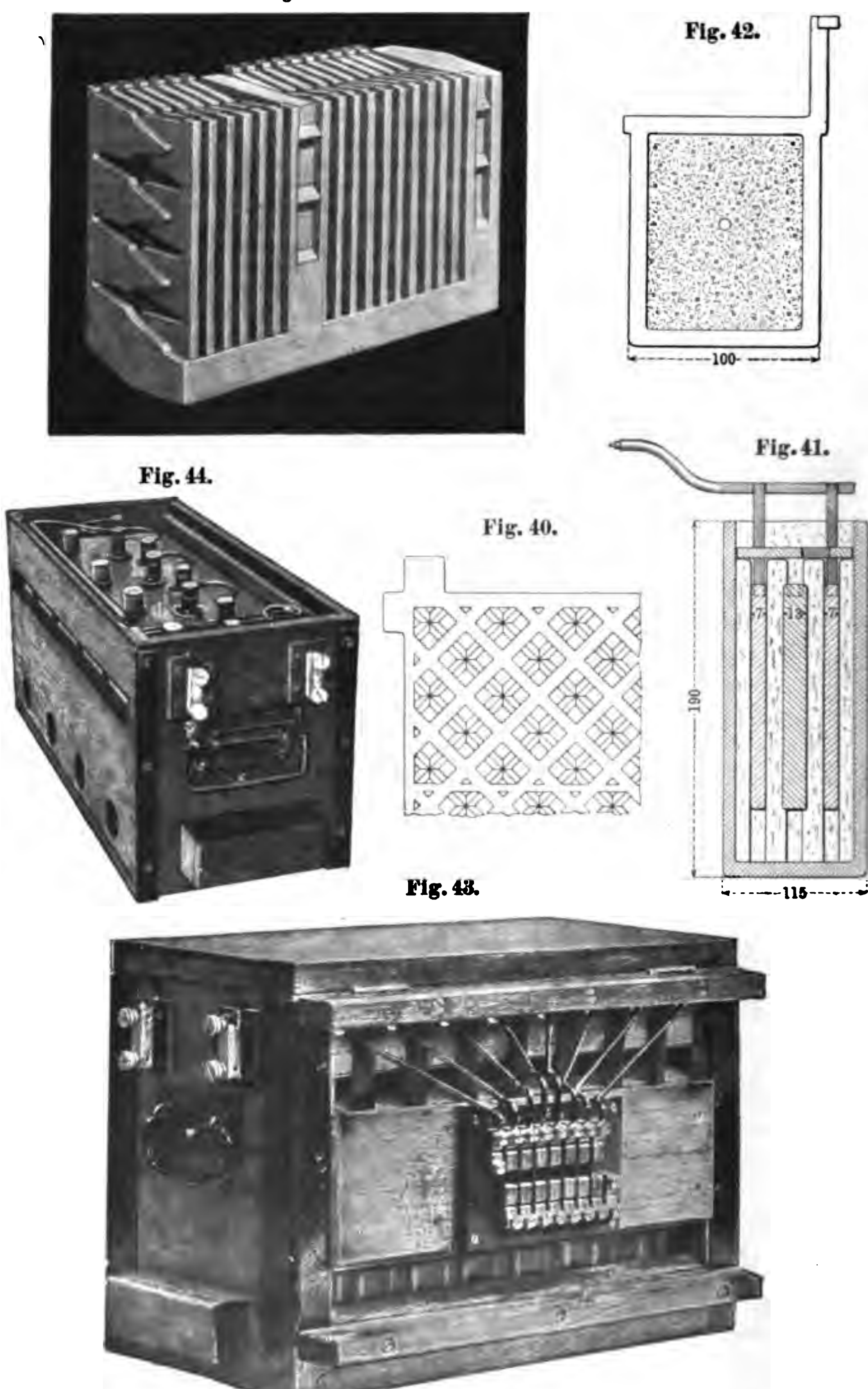


Fig. 39. Fig. 42. Fig. 41. Fig. 44. Fig. 40. Fig. 43.

b) Sammler der Accumulatoren- und Electricitätswerke-A.-G., vorm. W. A. Boese & Co. Große (ortsfeste) Sammler. Ein Stück der positiven Großoberflächenplatte, die von der Accumulatoren- und Electricitätswerke-A.-G., vorm. W. A. Boese & Co., für große Sammler benutzt wird, stellt **Fig. 39** dar. Die Platte ist ebenfalls durchbrochen, damit die Säure frei hindurchtreten kann. Bei einem älteren Muster sind die dreieckigen Plättchen, aus denen sich die Platte zusammensetzt, an der Vorderkante voneinander getrennt. Die negative Platte hat ein ähnliches einfaches Gitter wie das Muster der Fig. 36. Die Stärke beträgt bei den positiven Platten 12 oder 10 mm und bei den negativen 6,2 bis 9 mm.

Kleine Sammler für besondere Zwecke. Die Firma stellt Telegraphensammler her, die positive Großoberflächenplatten des älteren Musters enthalten. Als negative Elektroden dienen Correnssche Gitterplatten, die man aus zwei gegeneinander verschobenen quadratischen Hartbleigittern zusammengesetzt denken kann. **Fig. 40** zeigt ein leeres Gitter, an dem man die glatte Außenseite der vorderen Hälfte und die dreikantige Innenseite der hinteren Hälfte sehen kann. Einen Querschnitt durch die Zelle stellt **Fig. 41** dar. Das Glasgefäß enthält Nuten zum Festhalten und Aufhängen der Platten; es ist durch einen Glasdeckel abgeschlossen. Zur Verbindung der Zellen untereinander dienen Bleistege, die nach der Aufstellung mit Hilfe besonderer Zangen angelötet werden. Im Betriebe der Reichs-Telegraphenverwaltung ist noch eine Anzahl Boesescher Telegraphenzellen mit positiven und negativen Masse-Rahmenplatten vorhanden. Sie enthalten einen einfachen gegossenen Hartbleirahmen mit wenig nach innen vorstehenden Rändern, in den die Masse hineingepreßt ist, wie **Fig. 42** veranschaulicht. Die Masse wird zur Vervollkommnung des Säuredurchganges mit Löchern versehen.

Für den Fernsprechbetrieb, z. B. zur Speisung der Amtsmikrophone im Lokalbatteriebetriebe, liefert die Firma Batterien von acht oder zehn Zellen in säurefest gestrichenen Holzkästen (**Fig. 43**). Da die Kästen sehr oft nach fremden Ladeeinrichtungen befördert werden müssen, sind Zellengefäße aus Zelluloid mit fest eingeklebten Deckeln verwendet. Die Holzkästen enthalten Schlitze und Öffnungen, die einen Durchblick durch die Zellen gestatten. Auf eine Füllöffnung im Deckel ist ein Stück Zelluloidrohr tüllenartig aufgesetzt. Es wird mit einem durchbohrten Gummistopfen verschlossen. Auf diese Weise ist das Verschütten von Säure verhütet. Von den Zellenpolen führen verbleite Kupferdrähte nach einer Seitenwand zu einer später zu besprechenden Schalteinrichtung, die es ermöglicht, die Zellen bei der Ladung hintereinander und bei der Entladung parallel zu schalten. Die Endpole der Batterie sind nach der Stirnseite des Kastens an zwei Klemmen geführt. Vielfach benutzen die Fernsprechämter auch die vierzelligen Kästen, die von der Firma für die Beleuchtung der Bahnpostwagen geliefert werden. **Fig. 44** läßt eine solche Batterie nebst den Zellenpolen und den durch Gummistopfen verschlossenen Tüllen erkennen. Die Sammler für Fernsprechämter wurden früher mit Masseplatten geliefert; jetzt haben sie meist Großoberflächenplatten und Glaszellen. Für den Betrieb von Teilnehmermikrophonen hat die Firma Sammler mit Masseplatten geliefert.

Nähere Angaben über die kleinen Zellen enthält die nachfolgende Übersicht.

Kleine Sammler der Accumulatoren- und Electricitäts-

Type	Entladung			Ladung Strom-stärke in Ampere	Außenmaße eines Gefäßes		
	Strom-stärke in Ampere	Dauer in Stunden	Kapazität in Amp.-stunden		Höhe mm	Breite mm	Länge mm
			a) Sammler mit positiven und nega-				
Sammler für Fernsprechämter WW_I	4	6	24	2,8	205	181	49
	2,8	10	28				
	1,8	20	36				
Sammler für Bahnpostwagen und Fernsprechämter WW_{III}	11,6	6	70	8,5	205	181	112
	8,5	10	85				
	5,2	20	105				
Sammler für Bahnpostwagen und Fernsprechämter D_{IV}	11,2	5	56	7	205	113	182
	7,2	10	72				
	4,8	20	96				
Mikrophonsammler . . .	1	25	25	1	19,5	80	130
Telegraphensammler . .	0,8	19	15	0,8	200	123	74
Ferndruckersammler M_I	1	6	6	0,7	125	89	46
	0,7	10	7				
	0,5	20	10				
		b) Sammler mit positiven Großoberflächenplatten					
Telegraphensammler $Stel_I$	6	1	6	3	200	123	74
	3	3	9				
	2	5	10				
	1,4	$7^1/_2$	11				
	1,2	10	12				
	1	13	13				
	0,75	19	14				
Sammler für Fernsprechämter	1,7	19	32	6	225	60	175

III. Aufstellung.

a) Gestelle. Ortsfeste Sammler ruhen auf Gestellen von Kiefern- oder Pitchpineholz. Die Gestelle werden mit Holzpflöcken ohne Verwendung des leicht von der Säure zerstörten Eisens zusammengefügt und zweimal mit säurefester Farbe oder heißem Leinöl gestrichen. Für kleinere Zellen mit einer Kapazität bis zu 500 AS verwendet man bei mangelndem Raume Etagengestelle, die nach **Fig. 45** gebaut sind und zwei übereinander stehende Reihen von Sammlern aufnehmen. Bei größeren Zellen müssen Bodengestelle nach dem Muster der **Fig. 46** benutzt werden. Sie bestehen in der Hauptsache aus zwei oder mehr Längsbalken, auf denen die Gefäße ruhen, wie **Fig. 47** darstellt. Die Zwischenräume zwischen den Zellen be-

werke-A.-G. vorm. W. A. Boese & Co. für besondere Zwecke.

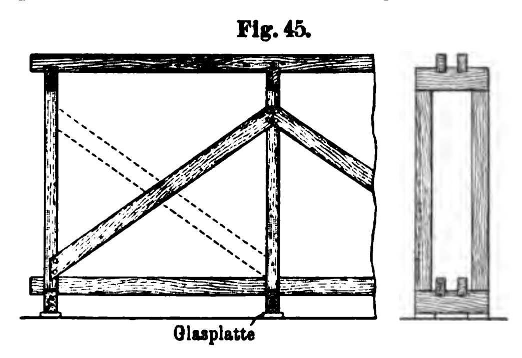
Gewicht einer fertigen Zelle einschließlich Säure kg	Säure vom spez. Gew. 1,2 Inhalt in Litern	Listenpreise[1]) einer Zelle, mit Säure gefüllt und geladen ℳ	eines Einbaukastens mit Deckel, Handgriffen und 2 Klemmen, einschließlich Montage der Zellen in den Kästen: für eine einzelne Zelle ℳ	für jede weitere Zelle mehr ℳ	Bemerkungen
:iven Masseplatten (Rahmenplatten).					
4,4	0,8	16,00	5,00	1,75	In Glasgefäßen
10	2	32,00	5,50	2,75	In Glasgefäßen
9,3	2,1	32,25	5,50	2,75	In Glasgefäßen
—	—	—	—	—	In Glasgefäßen
—	—	—	—	—	In Glasgefäßen
1,2	0,3	7,00	4,50	1,25	In Zelluloidgefäßen je 6 in einem Holzkasten
und negativen Masseplatten (Corrensgitter).					
4,5	0,8	8,50	4,50	1,50	In Glasgefäßen
—	—	—	—	—	In Glas- oder Hartgummigefäßen mit Vergußmasse

tragen oben etwa 10 mm. Zwischen den Balken und den Gefäßen liegt ein Porzellanisolator, der entweder eine einfach konische Form hat oder nach **Fig. 48** aus zwei ineinandergesetzten Teilen besteht. Das Oberteil hat die Form einer Glocke und verhütet dadurch, daß Säure in den unteren Teil gelangt und eine leitende Verbindung zur Erde herstellt. Das Holzgestell ist vom Boden durch Glasplatten isoliert. Für Batterien mit mehr als 120 hintereinander geschalteten Zellen verwendet man Glasplatten mit Abtropfkante, die einen nach unten vorspringenden scharfen Rand haben und so den Übergang herabtropfender Säure auf ihre untere Seite verhindern. Bei Bodengestellen ruhen die Glasplatten auf Holzklötzen, die auf dem Boden

[1]) Für Einbaukästen ohne Deckel ermäßigen sich die Preise um etwa 25 Proz.

liegen (Fig. 47). Für Etagengestelle, die Füße haben, sind solche Holzklötze nicht erforderlich. Die Glasplatten werden hier unter die Füße auf den Boden gelegt und vor dem Zerdrücktwerden durch untergeschobene Bleiplatten geschützt. Die Isolierung der Zellen gegen das Gestell und des Gestelles gegen die Erde wird durch die Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker verlangt. Damit die Isolation vollkommen bleibt, müssen Isolatoren und Glasplatten von Zeit zu Zeit trocken abgewischt werden.

Fig. 45.



Raumbedarf. Sammler, die bis zu 0,5 m in der Höhe, Breite und Länge messen, können in zwei Reihen dicht nebeneinander aufgestellt werden. Für die Bedienung genügt an einer Seite ein Gang von 0,8 m Breite. Für größere Zellen ist an beiden Seiten ein 0,8 m breiter Gang erforderlich. Bei sehr großen Zellen genügt diese Breite noch nicht, um beschädigte Kästen herausschaffen zu können. Der Gang auf

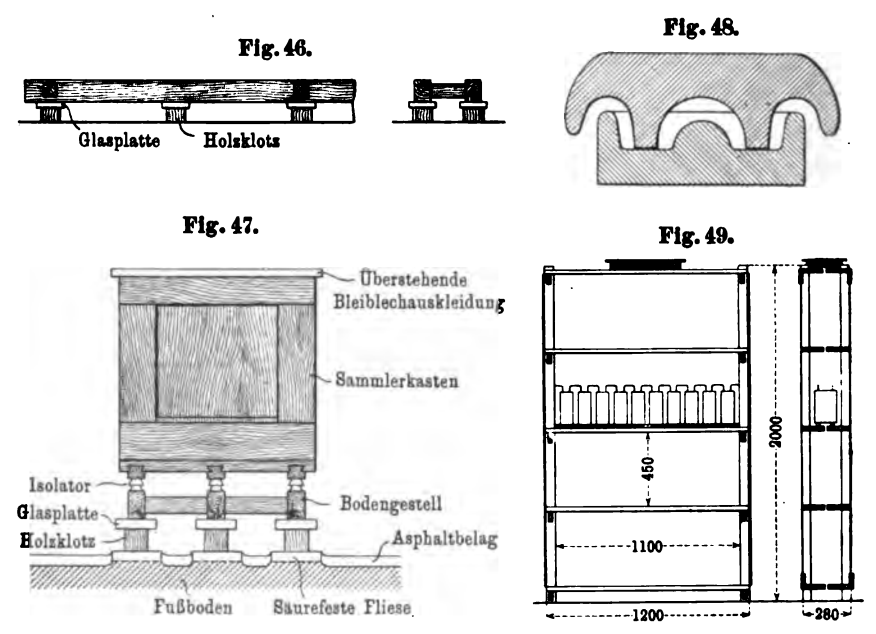


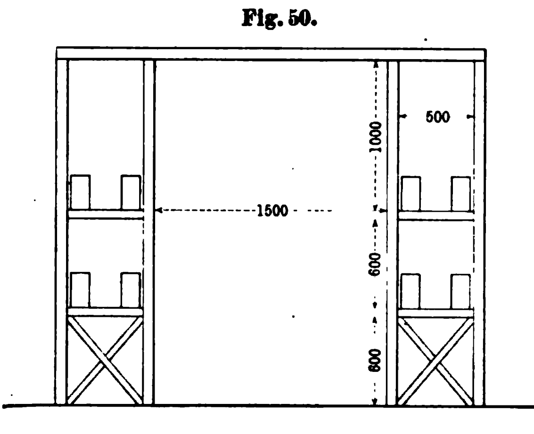
Fig. 46. Fig. 48. Fig. 47. Fig. 49.

einer Seite der Reihe muß daher entsprechend verbreitert werden. Für sehr hohe Kästen verwendet man, um die Bedienung zu erleichtern, Laufböden. Bei Batterien von mehr als 136 hintereinander geschalteten Elementen werden zum Schutze des Bedienungspersonals gegen Stromübergänge isolierte Laufbühnen angebracht. Gegen zufällige Berührung zweier Pole mit mehr als 250 V Spannungsunterschied muß das Personal nach den Vorschriften des

Verbandes Deutscher Elektrotechniker [1]) durch entsprechende Anordnung der Batterie geschützt werden.

Aufstellung kleiner Sammler. Kleine Sammler, z. B. solche für den Telegraphenbetrieb, stellt man in der Regel in mehreren Reihen übereinander auf. Bei der Reichs-Telegraphenverwaltung werden für diesen Zweck vielfach Schränke mit Glastüren und Säureabzug nach dem Muster der **Fig. 49** verwendet. Die Zellen stehen auf Hartgummirohren, die zugleich zur Isolierung dienen. Zur Ableitung der Säuredämpfe ins Freie kann an die Schränke statt des Aufsatzes ein Bleirohr oder säurefest gestrichener Holzkanal angeschlossen werden.

Fig. 50.



Ein offenes Gestell für kleine Sammler veranschaulicht **Fig. 50.** Die über den beiden Gestellteilen liegenden Querhölzer dienen zugleich zur Anbringung der isolierten Zuleitungsdrähte mit Hilfe von Isolierrollen. Wenn die Schränke oder Gestelle offene Zellen aufzunehmen haben, empfiehlt es sich, die Tragebretter durch aufgelegtes Bleiblech gegen Säurespritzer zu schützen.

b) Fußböden. Tragfähigkeit. Der Fußboden eines Sammlerraumes bedarf in doppelter Hinsicht einer Vorbereitung. Er muß imstande sein, ebensowohl das große Gewicht der Batterie zu tragen als auch etwa vergossene Säure von den anderen Gebäudeteilen abzuhalten.

Zur Erzielung der nötigen Tragfähigkeit müssen nach Bedarf besondere Balken eingezogen werden; die Gestelle werden zweckmäßig mit ihren Füßen oder Unterlagen auf die Balken gesetzt, und zwar am besten, soweit die örtlichen Verhältnisse es gestatten, senkrecht zur Richtung der Balken, weil dann die Last auf mehrere Balken verteilt ist. Für große Sammler in neuen Gebäuden ist Gewölbefußboden mit Betonschicht zu empfehlen. Welche Tragfähigkeit des Fußbodens erfordert wird, läßt sich nach dem Gewicht der Sammler und der Länge des Gestelles berechnen. Sie muß für große Sammler an den Unterstützungspunkten der Gestelle mindestens 5 kg auf 1 qcm betragen.

Säurefestigkeit. Da sowohl Holz als auch Zement von der Schwefelsäure angegriffen wird, muß jeder Fußboden einen schützenden Belag erhalten, der gegen Säure widerstandsfähig ist. Besteht die Batterie aus kleinen Zellen, so genügt es, wenn dicht um die Gestelle herum durch Aufnageln niedriger Latten flache Behälter zum Auffangen einer geringen Säuremenge gebildet werden. Ihr Innenraum wird mehrmals mit säurefester Farbe oder Steinkohlenteer mit zwischengestreutem Sand gestrichen, nachdem alle Fugen gut ausgekittet sind. Für trockene Räume mit kleinen

---

[1]) Errichtungsvorschriften, § 8 d.

Sammlern läßt sich auch Linoleumfußboden verwenden, wenn ein Durchsickern der Säure durch die Fugen des Belages oder an den Scheuerleisten verhütet ist.

Eine vollkommene Sicherheit gegen das Durchdringen der Säure bieten aber diese Mittel nicht. Es muß deshalb ausgelaufene Säure, wie auch die Verbandsvorschriften [1]) bestimmen, sofort beseitigt werden.

Einen wirksamen Schutz für Zement- oder Ziegelsteinfußboden bildet ein 3 cm starker Belag von bestem, mit Sand vermischtem Trinidadasphalt, der an den Wänden 6 bis 10 cm in die Höhe geführt ist [2]). Da der Asphalt in der Wärme weich wird, müssen für die Fußpunkte der Gestelle säurefeste, nicht hygroskopische Mettlacher Fliesen eingebettet werden (s. Fig. 47, S. 74). Die Fliesen werden in der Regel vor dem Einbringen der Asphaltschicht auf kleine Erhöhungen von Zement gelegt. Der Asphalt wird dann an ihnen in ähnlicher Weise wie an den Wänden in die Höhe geführt.

c) **Räume.** Sammlerräume müssen trocken, kühl und luftig sein. In feuchten Räumen bilden sich leicht auf den Isolatoren Überzüge, die der Isolation schädlich sind. Wärme befördert die Wasserverdunstung und macht dadurch häufiger das Nachfüllen von Wasser erforderlich.

Lüftung. Die namentlich im letzten Teile der Ladung bei der Gasentwicklung verspritzten feinen Säureteilchen müssen durch reichliches Öffnen der Fenster beseitigt werden. Für große Sammler, die viel Säuredämpfe entwickeln, muß ein Abzug nach einem gut ziehenden Schornstein hergestellt oder ein elektrischer, am besten säuresicher gebauter Ventilator in das Fenster eingesetzt werden. Auch ist dafür zu sorgen, daß frische Luft an einem der Abzugsstelle gegenüberliegenden Teile des Raumes in mittlerer Höhe eintreten kann. In Amerika ist man vielfach dazu übergegangen, die Sammler, die dort in Umschalteräumen mit untergebracht sind, in Holzkästen mit Glasdeckeln und Säureabzügen vollständig einzubauen.

Anstrich. Wo große Sammler oder kleine Zellen in größerer Anzahl aufgestellt sind, müssen Wände und Decke durch einen Anstrich von säurefester Farbe geschützt werden. Der Deckenanstrich darf nicht abblättern, da er das Herabfallen von Kalk zu verhüten hat. Die im Sammlerraume vorhandenen Metallteile, wie z. B. Fenster- und Türgriffe, Zuleitungen usw., werden ebenfalls, und zwar zweckmäßig vor Aufstellung der Zellen zweimal mit säurefester Farbe gestrichen. Besonders sorgfältig muß die obere Fläche starker Zuleitungsschienen behandelt werden, weil dorthin bei ungenügender Lüftung leicht Säuretröpfchen niederfallen.

Beleuchtung. Da bei der Gasentwicklung ein explosibles Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff (Knallgas) entsteht, dürfen Sammlerräume nur mit elektrischen Lampen, die in luftleerem Raume brennen (keine Bogen- oder Nernstlampen) beleuchtet werden [3]). Ebenso ist es untersagt, namentlich gegen Schluß der Ladung Feuer in den Sammlerraum zu bringen [4]).

---

[1]) Betriebsvorschriften, § 11c. — [2]) In England belegt man im Telegraphenbetriebe vielfach den Fußboden der Sammlerräume mit Bleiblech, dessen Stücke zusammengeschmolzen werden. Herbert, Telegraphy, S. 465. — [3]) Errichtungsvorschriften, § 8 f. — [4]) Betriebsvorschriften, § 11 a.



Besonders gefährlich würde es sein, eine Zelle mit Deckel, unter dem sich die Gase leicht sammeln, während der Ladung mit offenem Licht abzuleuchten. Für diesen Zweck ist vielmehr eine elektrische Glühlampe zu verwenden, die mit einer durch Gummischlauch gegen Säure geschützten beweglichen Leitung und einem Anschlußstöpsel verbunden ist. Für diese Lampe sind an mehrere Stellen des Raumes Anschlußdosen vorzusehen. Bei Glaszellen hält man die Lampe hinter das Gefäß und sieht von vorn in der Richtung der Platten hindurch. Bei Holzgefäßen muß man eine säurefest mit Gummi abgedichtete Untersäurelampe verwenden, die in die Batterieflüssigkeit hineingetaucht und bis unter die Platten geschoben werden kann.

IV. Verhalten im Betriebe.

1. Säuredichte.

Maßstab. Die Flüssigkeit des Sammlers besteht aus einem Gemisch von Schwefelsäure (H_2SO_4) und destilliertem Wasser (H_2O). Mit dem Mischungsverhältnis ändert sich die Dichte der Flüssigkeit, da das spezifische Gewicht der reinen Schwefelsäure 1,84 und des Wassers 1 beträgt. Die im Handel käufliche sogenannte konzentrierte Schwefelsäure ist nicht wasserfrei herzustellen, weil sie begierig Wasser aus der Luft aufnimmt. Sie hat in der Regel einen Prozentgehalt von 87 und ein spezifisches Gewicht von 1,8. Die Dichte des Elektrolyts wird oft in Baumégraden angegeben. Es entsprechen 0° dieser Einteilung der Dichte des Wassers und 66° der Dichte der Schwefelsäure von 1,84 spezifischem Gewicht. In der nachstehenden Übersicht sind die spezifischen Gewichte und Baumégrade für verschiedene Mischungsverhältnisse bei 15° C angegeben. Bei Erhöhung der Temperatur um 1° nimmt das spezifische Gewicht um etwa 0,0006 ab[1]).

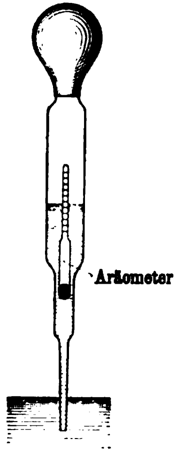
Spez. Gew.	Grad Bé	Schwefelsäure in Proz.	Schwefelsäure in kg auf 1 Liter	Spez. Gew.	Grad Bé	Schwefelsäure in Proz.	Schwefelsäure in kg auf 1 Liter
1,025	3,4	3,76	0,039	1,175	21,4	24,12	0,283
1,050	6,7	7,37	0,077	1,200	24,0	27,32	0,328
1,075	10,0	10,90	0,117	1,225	26,4	30,48	0,373
1,100	13,0	14,35	0,158	1,250	28,8	33,43	0,418
1,125	16,0	17,66	0,199	1,275	31,1	36,29	0,462
1,150	18,8	20,91	0,239	1,300	33,3	39,19	0,510

Aräometer. Zur Bestimmung der Säuredichte benutzt man das Aräometer, einen röhrenförmigen, unten belasteten Schwimmkörper aus Glas (vgl. **Fig. 51**), dessen Eintauchtiefe sich nach dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit richtet. An einer innen angebrachten Einteilung des schwimmenden Aräometers lassen sich die spezifischen Gewichte oder Baumégrade ablesen. Man visiert dazu über den Flüssigkeitsspiegel, muß aber die kleine Erhöhung, die sich um das Aräometer herum bildet, unberücksichtigt lassen. Ferner ist darauf zu achten, daß der Säuremesser frei schwimmt und feste Teile nicht

[1]) Strecker, Hilfsbuch f. d. Elektrotechnik, 1907, S. 528.

berührt. Kleine Zellen gestatten oft die Einführung des Aräometers nicht, namentlich wenn sie Deckel haben. Man muß dann die Säure mit einem Stechheber mit aufgesetztem Gummiball in ein kleines Standglas übertragen und dort messen. Es gibt aber auch Stechheber, die in ihrem Hohlraum ein Aräometer enthalten (Fig. 51) und so das Übertragen der Säure in ein anderes Gefäß ersparen. Die Messung wird jedoch leicht ungenau, weil das Aräometer dazu neigt, an der Wand zu kleben.

Fig. 51.



Regelmäßige Veränderungen bei der Ladung und Entladung. Die Säuredichte schwankt im Betriebe, weil bei der Ladung Schwefelsäure erzeugt und Wasser verbraucht wird, während sich bei der Entladung der umgekehrte Vorgang abspielt. Größere Zellen enthalten oft für je 20 AS Kapazität 1 Liter Flüssigkeit. Nach der Berechnung auf S. 59 werden durch 20 AS $20 \times 2 \times 1{,}83 = 73{,}2$ g Schwefelsäure bei der Ladung gebildet und bei der Entladung gebunden. Rechnet man nach der vorstehenden Übersicht auf je 45 g erzeugte oder verbrauchte Säure in 1 Liter Flüssigkeit eine Änderung des spezifischen Gewichts um 0,025, so ergibt sich beim Durchgang von 20 AS eine Zu- oder Abnahme des spezifischen Gewichts von $73{,}2 \times 0{,}025/45 = 0{,}04$, wenn die Volumänderungen der Elektroden als unwesentlich vernachlässigt werden.

Fig. 52.

Volt Sp. G. 2,8 1,22 2,7 1,21 2,6 1,20 2,5 1,19 2,4 1,18 2,3 2,2 2,1 2,0 1,9 1,8 Spannung → Säuredichte → I S. norm. II S. gem. III Sp. Lad. a Sp. Entl. IV. b Sp. Entl. 24 Std. Ladung → Entladung → 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Stunden Lade- oder Entladezeit →

In Zellen, die auf je 20 AS 1 Liter Flüssigkeit enthalten, schwankt dann das spezifische Gewicht der Säure bei vollständiger Ladung und Entladung um 0,04 oder für je $^1/_{10}$ der Kapazität um 0,004. Beträgt die Flüssigkeitsmenge weniger als 1 Liter auf 20 AS, so wird die Schwankung entsprechend größer. Kleine Zellen haben oft 1 Liter auf 30 AS und daher eine Veränderung um 0,06.

Umgekehrt wird die Schwankung kleiner, wenn die Zellen noch freien Raum für eine spätere Vermehrung der Plattenzahl enthalten.

Unregelmäßigkeiten infolge mangelhafter Mischung. Die Veränderungen der Säuredichte vollziehen sich nicht mit der zu erwartenden Regelmäßigkeit, weil die bei der Ladung entstehende Schwefelsäure wie ein dickes, schweres Öl in Schlieren auf den Boden sinkt, ohne sich vollkommen mit der Flüssigkeit zu vermischen. Umgekehrt entnehmen bei der Entladung

die Platten Schwefelsäure aus den unmittelbar benachbarten Schichten der Flüssigkeit, ohne daß eine sofortige Ergänzung durch die am Boden verbleibende dichtere Säure stattfindet. Der Ausgleich durch Diffusion erfolgt nur sehr langsam. In ruhenden Sammlern kann man nach der Ladung während eines Zeitraums von 12 Stunden im oberen Teile eine Zunahme des spezifischen Gewichts um 0,01 beobachten. Beschleunigt wird die Vermischung aber gegen Ende einer Ladung, wenn die aufsteigenden Gasbläschen die Flüssigkeit in Bewegung bringen. Eine vollkommene Gleichmäßigkeit tritt jedoch niemals ein. Oft beträgt das spezifische Gewicht auf dem Boden des Gefäßes 0,03 mehr als im oberen Drittel. Man muß deshalb Aräometer verwenden, die möglichst tief in die Flüssigkeit hineintauchen und so ihre Durchschnittsdichte angeben. Die besonders schweren unteren Schichten wird man aber kaum messen können.

Die Säuremessung ist nach dem Gesagten nicht als vollkommen zuverlässiger Maßstab für den Lade- oder Entladezustand anzusehen. Man wird z. B. bei einer länger fortgesetzten Ladung beobachten, daß die Säuredichte andauernd steigt. Es wäre ein Fehler, aus der Zunahme der Säuredichte ohne weiteres zu schließen, daß die Umwandlung der wirksamen Masse noch nicht vollkommen beendet sei. Der beobachtete Vorgang tritt vielmehr ein, weil durch die Gasentwicklung Säureteilchen vom Boden heraufgeholt werden. Wenn aber die Ladungen und Entladungen einer Batterie nach einem bestimmten Plane verlaufen, kann man erwarten, daß die Säuredichte auf gleichen Stufen des Lade- und Entladevorganges immer dieselbe ist.

Ein Bild von dem Verhalten der Säuredichte bei der Ladung einer Zelle von 1600 AS ergibt **Fig. 52.** Die Ladung ist in 9 Stunden mit 200 A Stromstärke ausgeführt worden mit einem Überschuß von 200 AS = 12,5 Proz. Nach $7^1/_2$-stündiger Ladung ist eine Pause von 4 Stunden eingetreten. Die mit dem Aräometer gemessene Säuredichte ist durch die Linie II und die theoretisch berechnete Dichte durch die Linie I dargestellt. Wie man sieht, verändert sich die gemessene Säuredichte während der ersten Stunde fast gar nicht, steigt aber dann in demselben Maße wie die Normaldichte, hinter der sie um 0,005 zurückbleibt. Bei schnellerer Ladung würde der Unterschied noch größer sein. Zuletzt biegt die Normallinie um, weil der Strom nicht mehr voll zur Umwandlung von Masse und Bildung von Säure, sondern teilweise zur Gasentwicklung verwendet wird. Dagegen nimmt die gemessene Dichte auch am Schluß infolge der Vermischung der Flüssigkeit mit den dichteren Bodenschichten in derselben Weise weiter zu und nähert sich dadurch wieder der Normaldichte. Während der 4-stündigen Ruhepause ist eine geringe Zunahme durch Diffusion eingetreten. Nach der Ladung würde die Dichte weiter steigen, wenn die Batterie unbenutzt stehen bliebe.

Unregelmäßigkeiten durch Wasser- und Säureverluste. Durch die Verdunstung und Zersetzung des Wassers tritt ebenfalls eine Veränderung der Säuredichte ein. Wenn Wasser nur in großen Zwischenräumen nachgefüllt wird, entstehen dadurch Unterschiede bis zu 0,005 im spezifischen Gewichte der Flüssigkeit. Der Flüssigkeitsspiegel muß daher möglichst immer dieselbe Höhe über den Platten haben (1 cm).

Verluste an Schwefelsäure treten nur in geringem Maße ein, und zwar durch Verspritzen bei der Gasentwickelung, durch Weiterformierung der posi-

tiven Platten und durch Abfallen von Masseteilchen, die in Sulfat übergehen. Eine vorübergehende Abnahme der Säuredichte findet beim Einfüllen der Flüssigkeit in neu aufgestellte Sammler statt. Die noch vorhandenen Bleisalze der negativen Platten nehmen große Mengen von Säure auf, um Sulfat zu bilden, und verdünnen dadurch die Säure sehr stark. Die normale Dichte tritt erst nach etwa 20-stündiger Ladung wieder ein. Zuweilen kann man bei neuen Zellen während der ersten Tage oder Wochen des Betriebes eine allmähliche Zunahme der Säuredichte beobachten, wenn noch Reste von Sulfat vorhanden sind. Um verschiedene Zellen einer Batterie vergleichen zu können, muß man sie auf gleiche Säuredichte bringen.

Eine Regelung der Säuredichte nach den am Ende einer Ladung vorgenommenen Messungen wird hauptsächlich durch Nachfüllen verdünnter Säure zu erfolgen haben. In der Regel füllt man kurz vor der nächsten Ladung nach, damit sich die Flüssigkeiten bei der Gasentwickelung mischen können. Durch einmaliges Nachfüllen stärkerer Säure läßt sich die gewünschte Erhöhung des spezifischen Gewichts nicht erzielen, weil wegen der schweren Mischbarkeit eine einwandfreie Messung nicht möglich ist. Es wird deshalb verdünnte Schwefelsäure von der Stärke der Sammlersäure benutzt und mehrere Male statt des verdunsteten Wassers nachgefüllt. Umgekehrt läßt sich die Sammlersäure dadurch verdünnen, daß längere Zeit nur Wasser nachgefüllt wird.

Normaldichte. Von den Lieferern wird angegeben, welche Dichte die Säure vor und nach der Ladung haben soll. Der erste Wert kommt aber nicht in Betracht, wenn die Sammler nicht vollständig entladen werden. Die Grenzen sind in der Regel 1,18 und 1,22 spez. Gew. oder 22 und 26° Bé. Die Verwendung stärkerer Säure bietet gewisse Vorteile. Ihre Leitfähigkeit nimmt mit der Dichte ziemlich stark zu, erreicht bei 30,5° Bé den höchsten Wert und fällt dann wieder ab. Außerdem wird, wie im folgenden Teil zu besprechen ist, durch eine Verstärkung die EMK und die Kapazität gesteigert. Die Vorteile sind aber bei schwachem Betriebe unerheblich. Dagegen befördert die stärkere Säure die später noch zu behandelnde „Sulfatierung", die besonders in Sammlern mit langsamer Entladung leicht auftritt. Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe sollte eine obere Grenze von 1,22 spez. Gew. nicht überschritten werden.

2. Elektromotorische Kraft (EMK).

a) Abhängigkeit von der Säuredichte. Die EMK des Sammlers beträgt rund 2 V und hat wie bei allen Elementen ihren Sitz an der Be-

Schwefelsäure Proz.	Spez. Gew.	EMK Volt
5	1,037	1,878
10	1,076	1,925
15	1,116	1,958
20	1,162	1,992
25	1,210	2,026
30	1,263	2,059
35	1,320	2,093
40	1,383	2,130

rührungsstelle zwischen Elektroden und Flüssigkeit. Sie ändert sich deshalb mit der Dichte der Schwefelsäure, wie vorstehende Übersicht[1]) ergibt.

Die EMK nimmt mit steigender Temperatur ein wenig zu.

b) Veränderungen bei der Entladung. Säureverbrauch. Die Spannung eines Sammlers nimmt bei der Entladung ab, weil die Säuredichte sich vermindert. Der Säureverbrauch findet aber nicht allein an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Masse der Platten statt. Da die engen Poren der Masse der stärkeren Säure den Zutritt nach innen erschweren, beginnt sie erst zuzuströmen, wenn ein gewisser Unterschied in der Säuredichte entstanden ist. Daraus erklärt sich die Erscheinung, daß bei Beginn der Entladung die Spannung in wenigen Minuten von 2,1 oder 2,05 bis auf 2 V, bei großer Stromstärke noch tiefer sinkt (Fig. 52 auf S. 78). Sobald sich dann ein gleichmäßiger Zufluß stärkerer Säure gebildet hat, bleibt die Spannung annähernd auf derselben Höhe. Wegen der anfänglichen schnellen Abnahme der Spannung ist es zulässig, eine frisch geladene Batterie mit 2,1 V Zellenspannung und eine teilweise entladene Batterie mit geringerer Zellenspannung parallel zu schalten, ohne daß bei dem geringen inneren Widerstande ein heftiger Ausgleichsstrom entstünde.

Verstopfung der Poren. Im weiteren Verlaufe der Entladung kann man eine langsame Abnahme der Spannung beobachten. Diese entsteht dadurch, daß an beiden Plattenarten infolge der Bildung von Bleisulfat, das größere Ausdehnung als Superoxyd und Bleischwamm besitzt, eine Verengung der Poren und Erschwerung des Säurezutritts stattfindet. Schließlich werden, da die Oberfläche der Platten den Strom am leichtesten aufnimmt und sich infolgedessen schneller ausdehnt als das Innere, die Ausgänge der Poren so verstopft, daß ein Säurezufluß nicht mehr in genügendem Maße möglich ist. Die Folge davon ist eine schnelle Abnahme der Spannung, die eine Unterbrechung der Entladung bedingt.

Neuerdings versucht man die Sammler so zu bauen, daß ihre Elektroden die nötige Menge Schwefelsäure möglichst selbst enthalten. Zu diesem Zwecke bauen amerikanische Firmen (Hatch[2]) Sammler ohne Flüssigkeit mit säuredurchtränkten, von porösen und unwirksamen Schichten getrennten Pasten als aktiver Masse. In einem solchen Sammler sinkt die Spannung gleichmäßig mit Abnahme der Säuredichte, ohne daß ein plötzlicher Abfall eintritt. Denselben Zweck erstrebt auch die Accumulatoren-Fabrik A.-G. mit ihrer Kastenplatte.

Schaltet man einen ganz oder teilweise entladenen Sammler aus, so dringt die stärkere Säure wieder langsam in die Platten ein und bewirkt, da im Innern noch geladene Masse vorhanden ist, eine Erhöhung der Spannung auf ungefähr 2 V. Sobald jedoch dem Sammler Strom entnommen wird und die eingedrungene Säure verbraucht ist, geht die Spannung schnell wieder auf den früheren geringeren Wert zurück. Hat ein ganz oder teilweise entladener Sammler eine größere Ruhepause, so findet eine Ladung der Sulfatschicht durch die darunterliegende geladene Masse statt. Der Sammler vermag dann wieder für einige Zeit Strom abzugeben.

---

[1]) Zeitschr. f. Elektrochem. 7, S. 52. — [2]) Electrician 1906, S. 169.

Der Verlauf der Spannung bei einer 5-stündigen und einer langsameren Entladung ist in Fig. 52 (IV, auf S. 78) dargestellt. Die oben geschilderten Erscheinungen treten, wie die beiden Entladungskurven zeigen, nur bei größerer Stromstärke deutlich auf. Schwächere Ströme, wie sie im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe üblich sind, verteilen sich gleichmäßiger auf die ganze Tiefe der wirksamen Masse. Infolgedessen verengen sich die Poren gleichmäßiger in ihrer ganzen Länge, ohne daß eine starke Verstopfung der Öffnungen stattfindet. Außerdem ist der Verbrauch an Säure geringer und ihre Ergänzung leichter möglich. Infolgedessen tritt der starke Abfall der Spannung erst ein, wenn die Entladung bis tief in die Platten eingedrungen ist. Eine weitgehende Entladung darf aber auch mit schwachem Strom nicht stattfinden, weil die Wiederladung der innersten Masseteilchen große Schwierigkeiten bereitet und die Wirksamkeit der Sammler durch allzutiefe Entladungen geschädigt wird. Immerhin kann bei geringerer Stromstärke mehr Energie entnommen werden. Die Unterschiede in der Kapazität sind aus den Zusammenstellungen auf den Seiten 69 und 72 zu ersehen. Da die Spannung bei langsamer Entladung höher bleibt, muß die Abschaltung schon bei einem höheren Werte erfolgen. Im Durchschnitt kann man folgende Grenzen annehmen:

bei	5-	10-	24-stündiger Entladung
	1,85	1,9	1,95 V.

Besondere Verhältnisse des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes. Dauert die Entladung länger als 24 Stunden, so ist die Abnahme der Spannung ganz schwach. Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe sinkt sie oft nicht unter 2 V. Um daher die Spannung einer schwach belasteten oder auch einer ruhenden Zelle zu ermitteln, muß man sie während der Messung mit möglichst starkem Strom belasten. Wählt man z. B. einen Strom für 5-stündige Entladung, so darf die Spannung nicht unter 1,85 V betragen. Für Telegraphenzellen eignet sich ein Widerstand von 1 Ohm aus einem Drahte, der eine Stromstärke von 2 A erträgt. Für große Zellen ist die Beschaffung von Widerständen für hohe Stromstärken meist nicht möglich. Man kann daher die Spannung in der Regel nicht als Maßstab für die Grenze der Entladung benutzen und muß sich nach Aufzeichnungen über die entnommenen Strommengen unter Zuhilfenahme der Säuremessung richten. Bei Zellen, die immer gleichmäßig in derselben Weise benutzt werden, kann man die Dauer der Entladung nach der erforderlichen Ladestrommenge bemessen.

c) Veränderungen bei der Ladung. Säureentwicklung. Fig. 52 auf S. 78 enthält auch eine Schaulinie (III) für die Ladespannung. Schaltet man eine vollständig entladene Zelle in einen Ladestromkreis ein, so steigt ihre Spannung in wenigen Minuten bis auf annähernd 2,2 V und wächst dann langsam weiter bis auf 2,3 und 2,4 V. Die Ursache dieser Erscheinung ist ebenso wie bei der Entladung eine Änderung der Säuredichte an und in den Platten. Infolge der Säurebildung entsteht anfänglich eine Ansammlung stärkerer Säure, die eine schnelle Zunahme der Spannung bewirkt. Dann hört die schnelle Steigerung auf, weil die entstehende Säure aus den Platten abfließt.

Gasentwicklung. Sind infolge des Stromdurchganges die an der Plattenoberfläche liegenden Masseteilchen, die den größten Teil des Stromes

aufnehmen, geladen, so gelangen die H- und SO_4-Ionen nicht mehr so leicht an ungeladene Teilchen. Infolgedessen beginnt die Abscheidung von Wasserstoff und Sauerstoff, die übrigens schon von Beginn der Ladung an am Aufsteigen vereinzelter Gasbläschen erkennbar ist, stärker zu werden. Die kräftigere Wasserstoffentwicklung an den negativen Platten beginnt bei einer Spannung von 2,3 bis 2,4 V, die Sauerstoffentwicklung an den positiven Platten mit geringerer Kapazität etwas früher. Die Bildung der Gasbläschen erfordert eine gewisse Arbeit, die sich dadurch bemerklich macht, daß für diesen Vorgang eine höhere Spannung erforderlich wird. Die Spannung steigt dementsprechend beim Einsetzen der stärkeren Gasentwicklung schnell von 2,3 auf 2,5 V und dann langsamer bis auf 2,6 V, um schließlich allmählich bis auf 2,7 oder bei größerer Säuredichte auf 2,8 V hinaufzugehen. Zugleich wird die Gasentwicklung so heftig, daß die Flüssigkeit milchig getrübt erscheint. Daraus ist zu schließen, daß alle für die Säure erreichbare Masse umgewandelt ist. Wird dann der Sammler ausgeschaltet, so sinkt die Spannung durch das Verschwinden der Gaspolarisation binnen 1 oder 2 Minuten wieder auf 2,3 V und nimmt darauf mit dem Abfließen der stärkeren Säure aus den Platten immer langsamer bis auf den der Säuredichte entsprechenden Wert ab. Man kann daher an einem ruhenden Sammler durch Spannungsmessung den Ladezustand nicht feststellen, wie auch die Ermittelung des Entladezustandes nur bei starker Stromentnahme möglich ist.

Es ist aus zweierlei Gründen nachteilig, den vollen Ladestrom bis zum Schluß anzuwenden. Einerseits ist eine kräftigere Einwirkung auf die schwer zugänglichen Masseteilchen im Innern der Platten nicht möglich, so daß bei starkem Strom ein großer Teil nutzlos zur Zersetzung der Flüssigkeit verbraucht wird. Andererseits ist die Gasentwicklung, die auch im Innern der Platten stattfindet, für deren Bestand gefährlich, weil die Gasblasen sich schnell entwickeln und stürmisch durch die Masseteilchen nach außen drängen. Dabei reißen sie leicht an den positiven Platten, in deren Hohlräumen sie sich zu größeren Blasen sammeln, Teilchen los, während sie an den weichen Bleischwammplatten blasige Auftreibungen und warzenartige Auswüchse erzeugen.

Laderegeln. Um derartige Beschädigungen zu vermeiden, ist man gezwungen, die Stromstärke am Ende der Ladung herabzumindern, und zwar um so mehr, je tiefer vorher die Entladung eingedrungen war, und je länger danach die Ladung ausgedehnt werden muß. Die inneren Plattenteile müssen gründlich wieder aufgeladen werden, weil sie sonst unter Verminderung der Kapazität in hartes Bleisulfat übergehen.

Bei den Batterien des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes müßte danach, der geringen Entladestromstärke entsprechend, auch der Ladestrom am Schluß stark vermindert werden, so daß die Ladung sehr lange dauern und durch hohe Bedienungskosten verteuert werden würde. Dieselbe Einwirkung auf die Platten läßt sich aber erzielen, wenn die Sammler kurz vor oder bei Beginn der kräftigen Gasentwicklung bei einer Spannung von 2,5 oder 2,6 V ausgeschaltet werden und mindestens eine Stunde sich selbst überlassen bleiben. Während dieser Ruhe tritt dann sowohl an den positiven wie auch an den negativen Platten eine Weiterformierung nach dem Innern der Masse dadurch ein, daß die geladenen Teilchen mit den ungeladenen galvanische Ele-

mente bilden, in denen eine Weitergabe der Ladung stattfindet. Wenn dann die oberste Schicht wieder aufnahmefähig geworden ist, kann eine neue Ladung (Nachladung) bis zum Eintritt der kräftigen Gasentwicklung erfolgen. Sammler, deren Entladung länger als etwa 3 Tage gedauert hat, werden zweckmäßig am folgenden Tage zum zweiten Male nachgeladen. Auch die Pause vor der ersten Nachladung kann bis zu 24 Stunden ausgedehnt werden, wenn die Betriebsverhältnisse es gestatten. Die Stromstärke bei der Nachladung wird in der Regel auf die Hälfte der höchstzulässigen Stärke ermäßigt. Bei Sammlern mit sehr langsamer Entladung empfiehlt es sich, bei der zweiten Nachladung den Strom noch weiter zu vermindern.

Von Zeit zu Zeit müssen die Nachladungen mit einstündigen Ruhepausen so lange wiederholt werden, bis sogleich beim Einschalten des Stromes eine kräftige Gasentwicklung auftritt als Zeichen, daß auch die tiefer liegenden Masseteilchen geladen sind. Die Vorschriften der Sammlerfabriken fordern derartige Sicherheitsladungen in der Regel in monatlichen Zwischenräumen, allerdings in der Voraussetzung, daß gewöhnlich nicht nachgeladen wird. Bei der Reichs-Telegraphenverwaltung genügen vierteljährliche Sicherheitsladungen.

Es empfiehlt sich, vor einer Sicherheitsladung die Batterien im Betriebe ganz zu entladen und aus der Strom-Abgabe und der -Aufnahme festzustellen, ob die Sammler noch die volle Kapazität besitzen.

Bei der Nachladung mit halber Stromstärke findet eine schwächere Entwicklung von Säure und eine geringere Anstauung in den Platten statt. Infolgedessen ist die Ladespannung etwa um 0,1 V kleiner als vorher. Ebenso ist die Gasentwicklung geringer. Um einen Vergleich mit den Werten der ersten Ladung ziehen zu können, muß man den Strom für kurze Zeit auf seine frühere Stärke bringen.

Wenn auch die Spannung und die Säuredichte bei der Ladung keinen vollkommen sicheren Maßstab für den Ladezustand abgeben, ermöglichen sie doch ein besseres Urteil als bei der Entladung. Es ist aber nicht möglich, das Ende der Ladung allein nach der Spannung festzustellen. Daher lassen sich Kontaktvoltmeter, die bei einer bestimmten Spannung Kontakt machen und den Ladestromkreis selbsttätig unterbrechen, für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb nicht verwenden.

Das beste Merkmal für das Ende der Ladung ist immer die Stärke der Gasentwicklung. Daneben muß noch darauf geachtet werden, daß die positiven Platten eine tiefdunkle, nahezu schwarze Farbe und die negativen eine blaugraue Bleifärbung haben. Weiße Flecke dürfen auf der Oberfläche nicht vorhanden sein. Jedoch sind kleine lose Ablagerungen auf der Oberkante nicht zu vermeiden und unschädlich.

Bei der ersten Ladung haben die unformierten Platten anfänglich noch keine Gegenspannung. Zur Verkleinerung der Ladespannung muß deshalb zuerst ein Widerstand, etwa von der Art der auf S. 86 besprochenen Flüssigkeitswiderstände, in den Ladekreis eingeschaltet werden.

d) Hilfselektrode. Zuweilen ist es erwünscht, festzustellen, ob die positiven und die negativen Platten in ihrer Kapazität erheblich voneinander abweichen. Man beobachtet dann bei der Entladung ihre Einzelspannung

gegenüber einem Kadmiumblech, das in die Flüssigkeit eingetaucht und über einen Spannungsmesser abwechselnd mit den positiven und den negativen Platten verbunden wird. Der Potentialunterschied des Kadmiums gegenüber den positiven Platten beträgt 2,17 V und gegenüber den negativen 0,16 V. Bei der Entladung nehmen die Werte ab und nähern sich einander, um schließlich eine ähnlich schnelle Verkleinerung zu zeigen wie die Sammlerspannung. In Ermangelung eines Kadmiumbleches kann man Bleistückchen verwenden, und zwar blank zur Beobachtung der positiven Platten und mit Superoxydüberzug zur Messung der negativen. Für diesen Zweck eignet sich auch der Bleiblechausschlag in Holzkästen, der einen Überzug von Sulfat hat. Er besitzt in geladenen Sammlern gegenüber den positiven Platten 1,35 V und gegenüber den negativen 0,65 V Spannung.

3. Kapazität.

a) Abhängigkeit von der wirksamen Masse, der Säure und der Temperatur. Die Stromabgabefähigkeit in AS oder „Kapazität" eines Sammlers erreicht niemals diejenige Größe, die man nach der Menge der vorhandenen Masse berechnen könnte, sondern nur etwa den dritten Teil davon. Die innersten Schichten sind, wie unter 2. besprochen wurde, für die Säure nicht erreichbar und nehmen deshalb an der Stromlieferung nicht teil. Durch Verstärkung der Säure läßt sich in geringem Maße das Eindringen in die Platten befördern und die Kapazität vergrößern. Auch bei der Erwärmung erhöht sich die Kapazität, weil die Säure dadurch dünnflüssiger wird und leichter in die Masse eintreten kann. Für Kapazitätsproben mit 3-stündiger Entladung rechnen die Sammlerfabriken auf 1° Temperaturzunahme einen Zuwachs von 1 Proz. der Kapazität. Unter Umständen beträgt die Zunahme je nach der Art des Sammlers auch bei langsamerer Entladung bis zu annähernd 3 Proz.[1]).

Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe sind die Entladestromstärken meist so gering, daß die Säure ohnehin auch ohne Erwärmung gut in die Platten eindringen kann. Die Angaben über Kapazität in den Preislisten der Fabriken beziehen sich auf eine Temperatur von 15° C.

b) Abhängigkeit vom Entladestrom. Wie unter 2. erwähnt, ist die Kapazität auch von der Entladestromstärke abhängig. In den Auszügen auf den Seiten 69 und 72 sind die zu entnehmenden Strommengen für verschiedene in der Starkstromtechnik übliche Entladezeiten (3, 5, $7^1/_2$, 10 Stunden) angegeben. Die zwischenliegenden und höheren Werte kann man graphisch in der Weise ermitteln, daß man nach dem Muster der **Fig. 53** die bekannten Kapazitäten senkrecht zu den zugehörigen Entladezeiten aufträgt und über die Endpunkte der Lote eine Kurve zeichnet. Die Werte lassen sich auch rechnerisch nach bestimmten Formeln ermitteln. In Fig. 53 gilt Kurve I für einen Sammler mit Masseplatten und Kurve II für einen Telegraphensammler mit positiven Planté-Platten. Die Schaulinie I zeigt, daß Sammler mit positiven Masseplatten bei Verminderung der Entladestromstärke stark an Kapazität gewinnen, weil die tiefer liegenden Masseschichten von der Säure

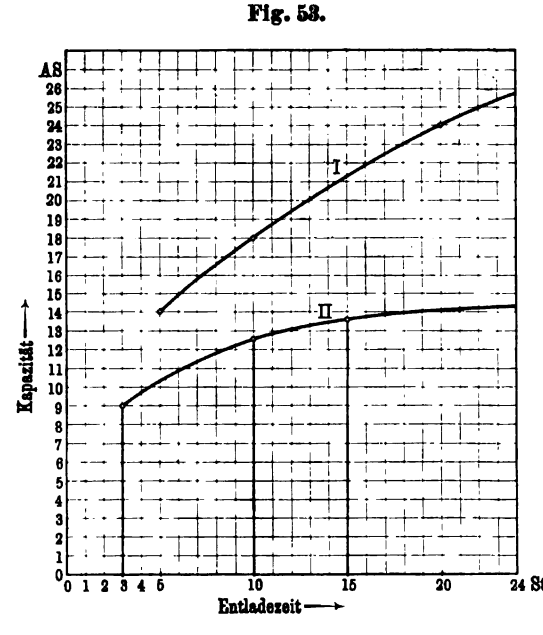
---

[1]) E. T. Z. 1901, S. 811.

erreicht werden, während Sammler mit Großoberflächenplatten nach Kurve II bald eine Grenze erreichen, bei der die dünne Masseschicht vollkommen umgewandelt wird, so daß die Kapazität auch für geringere Ströme nicht größer wird. In derselben Weise wächst die Aufnahmefähigkeit mit der Ladezeit.

Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe kann die Ladung nicht so lange dauern wie die Entladung; es müssen daher, wie oben erörtert, zur Wiederergänzung der herausgenommenen Strommenge Nachladungen ausgeführt werden. Da nun die Aufladung der inneren Masseteilchen schwierig ist, empfiehlt es sich, auch bei langsamen Entladungen nicht mehr Strom zu entnehmen, als für 10- bis 24-stündige Entladung zulässig ist.

Fig. 53.



Es ist bereits erörtert, daß die Kapazität der positiven Großoberflächenplatten durch Weiterformieren zunimmt und zugleich durch Abbröckeln der Masse verkleinert wird, während die anfänglich überlegene Kapazität der negativen Platten infolge des Schrumpfens allmählich nachläßt. Die Lieferer verpflichten sich in der Regel für ein Jahr, die Kapazität einer Batterie wiederherzustellen, wenn sie ohne Verschulden des Besitzers unter den angegebenen Wert sinkt.

c) **Kapazitätsproben.** Bei der Neulieferung oder Prüfung einer Batterie wird in der Regel die Kapazität festgestellt. Zu diesem Zwecke ladet man die Batterie nach den Regeln für die Sicherheitsladung gründlich voll und entladet sie dann unter Beobachtung der Spannung mit einer bestimmten Stromstärke. Batterien für langsame Entladung werden am besten mit der für 10-stündige Entladung festgesetzten Stromstärke geprüft. Zur Aufnahme des Stromes und zugleich zum Einstellen der Stromstärke dienen Metall- oder Flüssigkeitswiderstände. Ein solcher Flüssigkeitswiderstand läßt sich aus einer Tonne mit Sodalösung oder verdünnter Schwefelsäure und zwei Eisenplatten herstellen, wenn nicht ein überzähliger Sammlerkasten und zwei Bleiplatten vorhanden sind. Die Platten werden an Stricken aufgehängt, die über eine Rolle geführt sind und so zum Verändern der Eintauchtiefe und damit zum Einstellen der Stromstärke benutzt werden können. Eine Berührung der Platten wird durch zwischengestellte Holzstäbe verhütet. Da die Flüssigkeit sich stark erhitzt, muß sie öfter erneuert werden.

4. Innerer Widerstand.

a) Abhängigkeit von den Platten und der Säure. Der innere Widerstand eines Sammlers ist von der Oberfläche und Entfernung der Platten und von der Säuredichte abhängig. Da die Oberfläche der Platten sehr groß und ihr Abstand sehr gering ist, beträgt der Widerstand bei kleinen Sammlern nur einige Hundertstel Ohm und bei großen oft weniger als ein Tausendstel Ohm. Es ist deshalb nicht erforderlich, die Dichte der Schwefelsäure, die bei einem Gehalt von 30,5 Proz. ihre größte Leitfähigkeit besitzt, nach Rücksichten auf den inneren Widerstand zu bestimmen.

b) Klemmenspannung. Entsprechend den im Betriebe eintretenden Änderungen der Säuredichte schwankt zwar der innere Widerstand eines Sammlers und vervielfacht sich oft bei der Entladung, er bleibt aber stets so gering, daß ein merklicher Spannungsverlust in den Zellen nicht auftritt. Bei Berechnungen kann man daher die Klemmenspannung der EMK gleichsetzen. Hat z. B. ein Telegraphensammler zu 14 AS einen Widerstand von etwa 0,05 Ohm und wird er mit der höchst zulässigen Stromstärke von 2,5 A belastet, so entsteht ein Spannungsverlust von nur $0{,}05 \times 2{,}5 = 0{,}125$ V, der vernachlässigt werden kann. (Wegen der Veränderung der EMK mit der Belastung siehe unter 2, b auf S. 82.)

c) Pufferbatterien. Wegen ihres geringen Widerstandes eignen sich Sammler zu Pufferbatterien in Mikrophonstromkreisen (vgl. S. 39). Gegenüber den Kupferoxydelementen haben sie für diesen Zweck allerdings den Nachteil einer selbständigen Spannung. Die Pufferbatterie übernimmt, da ihr Widerstand geringer ist als derjenige der Hauptbatterie mit ihren Zuleitungen, bei gleicher Spannung den Hauptteil der Stromlieferung. Erst wenn die Spannung der Pufferbatterie um einen gewissen Betrag gesunken ist, hört ihre Beanspruchung auf. Dies geschieht aber erst bei weit vorgeschrittener Entladung. Beträgt z. B. der Widerstand der Hauptbatterie und ihrer Zuleitungen 0,2 Ohm und die durchschnittliche Betriebsstromstärke 2 A, so entsteht, wenn der Strom allein von der Hauptbatterie geliefert wird, in den Zuleitungen ein Spannungsabfall von $0{,}2 \times 2 = 0{,}4$ V. Bei der üblichen Betriebsspannung von 2 V muß daher die Pufferbatterie auf 1,6 V gesunken sein, bevor ihre Entladung aufhört. Eine selbsttätige Wiederaufladung durch die Hauptbatterie findet nur während der Ruhepausen in vollkommen ungenügendem Maße statt, da bei der Ladung die Spannnng der Pufferbatterie sofort wieder auf 2 V steigt. Die Pufferbatterie muß daher oft ausgewechselt und in einem besonderen Stromkreise wieder aufgeladen werden.

Mit Vorteil lassen sich für diesen Zweck statt der Sammler große Schwefelsäurezellen mit dicht gegenübergestellten einfachen, aus unbrauchbaren Kabelmänteln angefertigten Bleiplatten verwenden. Die Platten bedecken sich mit dünnen wirksamen Schichten, die nur eine geringe Kapazität haben und sich daher während der Ruhepausen wieder aufladen.

Wenn die Betriebsspannung größer ist oder die Hauptbatterie aus Primärelementen besteht, läßt sich oft die Zellenzahl der Pufferbatterie so bemessen, daß sie einerseits nicht zu stark beansprucht und andererseits nicht überladen wird.

V. Störungen.

1. Kurzschlüsse.

a) Ursache. Für die Entstehung der Kurzschlüsse kommen verschiedene Ursachen in Betracht. Die wirksame Masse erfährt bei der Ladung eine starke Ausdehnung und bei der Entladung eine entsprechende Verringerung des Volumens. Dadurch entsteht namentlich bei hohen Ladestromstärken leicht ein Verbiegen oder „Werfen“ der Platten, das Berührungen zwischen beiden Plattenarten hervorrufen kann. Auch herabgefallene größere Massestückchen und Auswüchse der negativen Platten können derartige Kurzschlüsse verursachen. Zuweilen entstehen sie mittelbar dadurch, daß zwei verschiedenartige Platten die Bleiblechauskleidung des Holzkastens berühren. Auch zwischen den überstehenden Bleiausschlägen benachbarter Zellen können Berührungen auftreten. Sie haben aber nur zur Folge, daß die eine Auskleidung zur positiven und die andere zur negativen Elektrode wird. Berührungen zwischen den Platten und Bleiblechen lassen sich leicht an den starken Abweichungen von der normalen Spannung erkennen, die zwischen Bleiblech und positiven Platten 1,35 V, zwischen Bleiblech und negativen Platten 0,65 V und zwischen benachbarten Bleiblechen 2 V beträgt.

b) Wirkungen. Über einen Kurzschluß entladen sich die Platten der Zelle je nach der Leitfähigkeit der Übergangsstelle mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit. Meist zeigt sich ein Rückgang der Spannung erst nach mehreren Entladungen. Die Wirkung der Entladung wird dadurch verstärkt, daß bei der Ladung ein Teil des Stromes seinen Weg über die Berührungsstelle nimmt und so für die Umwandlung der Platten in der kurz geschlossenen Zelle unwirksam wird. Es stellt sich bald heraus, daß die Zelle bei der Ladung in der Gasentwicklung zurückbleibt und bei der Entladung vor den übrigen erschöpft ist. Wird der Fehler dann noch nicht bemerkt, so tritt ein starker Rückgang der Spannung und die Bildung von hartem Bleisulfat an den Platten ein.

c) Zur **Verhütung** von Kurzschlüssen müssen die Zellen sorgfältig beobachtet werden. Bei Sammlern mit Glaszellen ist das leicht möglich, wenn man zwischen den Platten gegen das Tageslicht hindurchsehen oder eine Glühlampe hinter die Zellen bringen kann. In Holzgefäßen gelingt die Besichtigung nur, wenn man eine schmale Glühlampe mit langem Hartgummistiel und säuresicherem Gummiabschluß, sogenannte Untersäurelampe, in die Zellen einführt, dann einschaltet und sie mit dem gebogenen Ende unter die Platten schiebt.

d) Beseitigung. Abgefallene Masseteilchen, die zwischen den Platten stecken geblieben sind, werden mit einem Holz- oder Glasstäbchen vorsichtig losgelöst. Zeigen sich Krümmungen in den Platten, so beugt man einem Kurzschluß durch zwischengestellte Glasröhren, die am unteren Ende konisch ausgezogen sind, vor. Wenn infolge einer vorher unbemerkt gebliebenen Krümmung die Platten sich bereits berühren, so müssen sie herausgenommen und zwischen zwei glatten Holzbrettern gerichtet werden. Bei der Wiederinbetriebnahme der Platten muß berücksichtigt werden, daß sie in der Ladung zurückgeblieben sind. Zunächst wird man versuchen, die Zelle durch mehr-

malige, etwa einstündige Überladung der ganzen Batterie wieder zur Gasentwicklung zu bringen. Gelingt das nicht, so kann man, wenn die Betriebsspannung sich um 2 V vermindern läßt, die zurückgebliebene Zelle bei der Entladung aus- und bei der Ladung wieder einschalten. Dazu wird sie während der Entladung auf der einen Seite von der Nachbarzelle abgetrennt und diese mit der anderen Nachbarzelle verbunden. Läßt der Betrieb eine Spannungsermäßigung aber nicht zu, so muß die Zelle ausgewechselt und in einem besonderen Stromkreise geladen werden. Unter Umständen kann man sie auch ohne Ausschaltung aus einem besonderen Stromkreise speisen.

2. Sulfatierung.

a) Entstehung und Beseitigung. Bleibt ein ganz oder teilweise entladener Sammler sich selbst überlassen, so bilden sich nach einiger Zeit an den positiven und negativen Platten weiße harte Stellen, die sich immer mehr ausdehnen und schließlich die ganze Oberfläche bedecken. Die weißen Flecke bestehen aus kristallinischem Bleisulfat. Für seine Entstehung gibt Elbs folgende Erklärung: Das gewöhnliche Bleisulfat der entladenen Platten ist in verdünnter Schwefelsäure löslich. Der Grad der Löslichkeit hängt von der Temperatur ab. Kühlt sich nun der Sammlerraum ab, so scheidet sich ein Teil des gelösten Sulfats an den Platten ab, und zwar in Form von Kristallen. Da diese schwerer löslich sind als das gewöhnliche Bleisulfat, bleiben sie erhalten, auch wenn die Flüssigkeit sich wieder erwärmt, und wachsen bei der folgenden Abkühlung weiter.

Das kristallinische Bleisulfat unterscheidet sich von dem gewöhnlichen $PbSO_4$ darin, daß es eine feste Schicht bildet, die nicht mit Flüssigkeit durchtränkt ist und die Platten wie mit einer Isolierschicht von der Säure abschließt. Dadurch wird der innere Widerstand des Sammlers erhöht und die Einwirkung des Stromes auf die Masse erschwert oder unmöglich gemacht.

Bei der Ladung sulfatierter Sammler bemerkt man daher oft gleich zu Anfang einen außergewöhnlich starken Spannungsverlust oder eine Gasentwicklung, die den Anschein erwecken können, als ob der Sammler vollgeladen sei. Die Erscheinungen lassen aber nach, sobald die Sulfatschicht an einigen Stellen vom Strom durchbrochen wird. Es empfiehlt sich, sulfatierte Sammler mehrere Male mit Ruhepausen und mäßiger Stromstärke zu überladen, weil die Gase im Entstehungszustande besonders stark auf das Sulfat einwirken. Die Sulfatschicht läßt sich während der Gasentwicklung zuweilen durch Ausstoßen von Sammlersäure aus einem Stechheber mit Gummiball abspülen. Nach dem Aufhören der Gasentwicklung haftet aber das Sulfat wieder fest an den Platten.

b) Verhütung. Da die Sulfatbildung für den Betrieb sehr lästig und für den guten Zustand der Sammler sehr schädlich ist, muß man darauf bedacht sein, ungeladene oder halb entladene Sammler nicht stehen zu lassen. Diese Forderung läßt sich im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe, wo die Entladung oft mehrere Wochen dauert, nicht vollkommen erfüllen. Die Gefahr wird aber vermindert, wenn man die Entladezeit auf etwa zwei Wochen beschränkt und solche Zellen, die vor der Inbetriebnahme schon einige Zeit unbenutzt gestanden haben, nochmals vollends aufladet. Da die Neigung zur

Sulfatbildung mit der Säuredichte zunimmt, sollte im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe die Säuredichte nicht über 1,20 bis höchstens 1,22 steigen. Werden Zellen mit stärkerer Säure geliefert, so läßt sich das spezifische Gewicht allmählich dadurch herabmindern, daß nur destilliertes Wasser nachgefüllt wird.

VI. Verunreinigungen, Wirkungen und Nachweis.

Da Verunreinigungen, die mit der Säure und dem destillierten Wasser oder aus der Luft in die Sammler gelangen, deren Wirksamkeit und Lebensdauer herabsetzen, so müssen die Zellen davor geschützt werden. Füllsäure und Wasser sollen daher fremde Bestandteile gar nicht oder doch nur in ganz geringen Mengen enthalten; sie müssen vor ihrer Verwendung chemisch geprüft werden. Sie dürfen nicht in Gefäßen aufbewahrt werden, von denen sie Verunreinigungen aufnehmen könnten. Zum Einfüllen wird am besten ein Glaskrug benutzt. Durch das wiederholte Nachfüllen nicht einwandfreier Flüssigkeit würden sich die Verunreinigungen summieren.

a) Chlor. Zuweilen enthalten die Nachfüllflüssigkeiten Chlor (Cl), das in ungenügend gereinigter Schwefelsäure vorkommt, oder Chlorverbindungen, z. B. Kochsalz (NaCl), das in der Luft auftritt. Diese Stoffe werden in den Sammlern in Überchlorsäure umgewandelt und greifen dann wie die Formierflüssigkeiten den Bleikern der positiven Platten an. Der Chlorgehalt der Schwefelsäure, der nicht ganz zu vermeiden ist, darf 0,002 Proz., bezogen auf reine Säure, nicht übersteigen.

Bei chemischen Untersuchungen muß man die benutzten Gefäße stets sorgfältig mit destilliertem Wasser reinigen und mehrere Male mit der zu untersuchenden Flüssigkeit ausspülen. Zur Prüfung auf Chlor nimmt man eine geringe Menge der Säure oder des destillierten Wassers in einProberöhrchen und fügt zwei bis drei Tropfen einer $^1/_2$-proz. Höllensteinlösung ($AgNO_3$) hinzu, die mit Salpetersäure schwach angesäuert ist. Dann mischt man den Inhalt, indem man das Gläschen am oberen Rande faßt und mit dem unteren Ende mehrere Male gegen die offene Handfläche schlägt. Eine Berührung der Flüssigkeit mit der Hand ist zu vermeiden, weil dadurch schon eine merkliche Verunreinigung herbeigeführt werden kann. Enthält die Flüssigkeit Chlor, so bildet sich weißliches Chlorsilber (AgCl), das eine Trübung hervorbringt, wie einige Tropfen Milch in einem Glase Wasser.

Gewöhnliches Wasser enthält immer Chlor und darf daher zur Füllung der Sammler nicht verwendet werden.

Die Schwefelsäure enthält zuweilen Spuren von Schwefelwasserstoff (H_2S), der von der Reinigung der Säure herrührt und für die Sammler unschädlich ist. Er bildet mit der Höllensteinlösung einen braunen Niederschlag von Schwefelsilber (Ag_2S), der sich beim Erwärmen in Salpetersäure löst. Zeigt sich nun bei der Chlorprüfung ein brauner Niederschlag, so muß man prüfen, ob er von dem unschädlichen Schwefelwasserstoff oder von anderen Verunreinigungen herrührt. Zu diesem Zweck erwärmt man eine kleine Säuremenge in einem Proberöhrchen über einer Spiritusflamme unter fortwährender Bewegung des Röhrchens und kühlt dann das Röhrchen wieder ab. Darauf wird die Chlorprüfung vorgenommen.

Die Untersuchung der in den Zellen gebrauchten Säure muß auf andere Weise geschehen, weil das Chlor in Überchlorsäure umgewandelt ist. Es wird deshalb die Flüssigkeit zuerst mit einem chlorfreien Alkali abgedampft und der Rest im Platintiegel geglüht. Dadurch wird die Überchlorsäure in Chlorid verwandelt und kann nun in der beschriebenen Weise festgestellt werden [1]).

b) Stickstoffverbindungen, wie Salpetersäure und Ammoniak, bewirken eine Selbstentladung der Sammler dadurch, daß sie abwechselnd an den positiven Platten oxydiert und an den negativen reduziert werden. Die Teilchen werden bei der Gasentwicklung leicht hin und her von einer Platte zur anderen geführt und verursachen so einen merklichen Kapazitätsverlust. Die Stickstoffverbindungen dürfen daher nur in einer Gesamtmenge von höchstens 0,1 Proz. vorhanden sein.

Sie werden nachgewiesen durch eine Lösung von Diphenylamin in konzentrierter Schwefelsäure, die man der Sammlersäure überschichtet. Ihr Vorhandensein macht sich durch einen blauen Ring an der Berührungsstelle beider Flüssigkeiten bemerklich [2]).

c) Metalle. Wenn die Schwefelsäure solche Metalle enthält, die vom Blei aus den Lösungen verdrängt werden, wie Eisen, Kupfer, Nickel, Silber, Gold, Platin, so schlagen sie sich auf den negativen Platten nieder. Sie bilden dort mit dem Blei kleine galvanische Elemente, die fortwährend Blei in Bleisulfat unter Wasserstoffentwicklung umwandeln und so die Platten entladen. Ein sicheres Zeichen dieser Selbstentladung ist die bei der Ruhe stattfindende Gasentwicklung, das sogenannte „Nachkochen". Dieselbe Erscheinung beobachtet man öfters in schwachem Maße an Platten mit antimonhaltigen Hartbleigittern.

Zur Prüfung der Säure auf Metalle wird ein Stückchen chemisch reines Zink, das aber dabei nicht mit der Hand berührt werden darf, in eine kleine Menge Schwefelsäure gebracht. Chemisch reines Zink löst sich nicht in verdünnter Schwefelsäure auf. Enthält aber die Säure fremde Metalle, so schlagen sich diese auf dem Zink nieder und bilden mit ihm Elemente, in denen sich Wasserstoff unter Auflösung von Zink entwickelt. Derselbe Vorgang kann auch eintreten, wenn das Zink kleine Verunreinigungen enthält. Es muß daher, wenn eine stetige Entwicklung von Bläschen beobachtet wird, die Probe mit einem anderen Stückchen Zink wiederholt werden. Wenn nur einzelne Bläschen auftreten, ist die Säure frei von schädlichen Metallen.

Kupfer läßt sich in einfacher Weise dadurch feststellen, daß ein blanker Stahldraht in eine Säureprobe gelegt wird. Er überzieht sich beim Vorhandensein von Kupfer mit einem roten Niederschlage.

Eisen ist in der Sammlersäure besonders schädlich, weil es verschiedene Oxydationsstufen besitzt und ähnlich wie die Stickstoffverbindungen an den positiven Platten Sauerstoff aufnimmt und nach den negativen befördert. Es darf in der Füllsäure in Mengen von nicht mehr als 0,01 Proz. und in den Sammlern in Mengen von höchstens 0,1 Proz. vorhanden sein. Man weist es nach, indem man die Schwefelsäure mit einigen Tropfen Salpetersäure

---

[1]) Zentralblatt f. Akk. 1906, S. 113. — [2]) Ebenda.

kocht, dann abkühlt und Rhodammonium hinzufügt. Durch Eisen wird die Flüssigkeit rosa gefärbt.

In der Regel wird im Betriebe nur das destillierte Wasser auf Chlor und die Schwefelsäure auf Chlor und Metalle geprüft.

Größeren Batterien geben die Sammlerfabriken für die Prüfungen ein Untersuchungskästchen mit Höllensteinlösung, Salpetersäure, Glasröhrchen und einer Spirituslampe bei.

VII. Kosten.

1. Beschaffungs- und Unterhaltungskosten.

a) Große Sammler. Der Preis großer Sammler beträgt für 1 AS wenig mehr als 0,1 *M*.

Die Unterhaltung von Sammlern, die nicht öfter als täglich einmal entladen werden, übernehmen die Fabriken auf zehn Jahre gegen eine jährliche Vergütung von 10 Proz. der Beschaffungskosten. Die Batterie wird danach in zehn Jahren zweimal bezahlt; daher kann man von einer fünfjährigen Lebensdauer sprechen.

Die Telegraphen- und Fernsprechbatterien werden in einzelnen Fällen zweitägig, in der Regel aber seltener entladen. Ihre Lebensdauer ist danach auf zehn Jahre zu schätzen.

b) Sammleranlagen für den Telegraphenbetrieb. Für eine Sammleranlage mit Telegraphenzellen sind nachstehend die Beschaffungs- und Unterhaltungskosten, die auf eine Zelle entfallen, berechnet. Die Berechnung enthält auch die anteiligen Koston der Ladeeinrichtungen.

α) Sammleranlage mit Ladung unmittelbar aus einem Gleichstromnetz (ohne Umformer).

Auf eine Zelle entfallen an Beschaffungskosten:

Ein Sammler zu 14 AS	6,00	*M*[1]
1/2 Zelle als Vorrat zur Ladung (Vorratsbatterie mit der Hälfte der Zellenzahl)	3,00	„
Gestell	2,00	„
Schalttafel mit Instrumenten	6,00	„
Sicherungen, Drähte, Zubehör	2,00	„
Zusammen	19,00	*M*
Dazu Arbeiten	3,00	*M*
Einführung des Starkstromnetzes, Zähleraufstellung	3,00	„
Gesamte Beschaffungskosten für eine Zelle	25,00	*M*

Bei größeren Anlagen werden an den Kosten für eine Zelle erspart:

Für die Schalttafel	3,00	*M*
„ „ Einführung des Netzes	1,00	„
„ sonstige Kosten	1,00	„
Gesamtersparnis	5,00	*M*

Die Beschaffungskosten betragen danach für eine Telegraphenzelle 20 bis 25 *M*.

[1]) E. T. Z. 1893, S. 287.

Jährliche Unterhaltungskosten für eine Zelle.

Tilgung und Verzinsung des Anlagekapitals 10jährig mit 12 Proz.	2,40 ℳ
Wartung (ohne Ladung)	0,50 „
Schwefelsäure, destilliertes Wasser, Zählermiete usw.	0,20 „
Zusammen	3,10 ℳ
Mithin für 1 V rund	1,50 ℳ

Bei voller Belastung der Zellen mit 2,5 A beträgt der Jahrespreis für je 2,5 Voltampere (Watt) 1,50 ℳ, mithin für 1 W 0,6 ℳ.

Die jährlichen Unterhaltungskosten betragen aber auch bei schwacher Belastung mindestens 1,5 ℳ für 1 V, da in allen Fällen eine halbe Zelle zu unterhalten ist.

β) Mit Ladung mittelbar aus einem Netz (mit Umformer). Zu den Kosten der Sammler und der Schalteinrichtung treten noch die Ausgaben für die Ladedynamo und ihren Motor hinzu. In der Regel werden Maschinen für 30 V und 5 A = 150 W verwendet. Da diese Type in der Starkstromtechnik nicht allgemein gebräuchlich ist, stellt sich ihr Preis sehr hoch. Er kann für den Umformersatz mit Reserveanker und Zubehörteilen auf 750 ℳ berechnet werden. Danach kostet 1 W 750/150 = 5 ℳ.

Davon betragen die jährlichen Tilgungs-, Verzinsungs- und Unterhaltungskosten bei 10 Proz.	0,5 ℳ
Dazu für Sammler und Ladeeinrichtung, wie vorher	0,6 „
Gesamtbetrag der jährlichen Unterhaltungskosten	1,10 ℳ

γ) Mit Ladung aus Kupferelementen. Auf einen Sammler entfallen an Beschaffungskosten:

Telegraphenzelle	6,00 ℳ
Gestell	2,00 „
Einfache Schalttafel mit Instrumenten	3,00 „
Sicherungen, Drähte, Zubehör	2,00 „
Zusammen	13,00 ℳ
Dazu Arbeiten	1,00 „
Gesamte Beschaffungskosten	14,00 ℳ

Jährliche Unterhaltungskosten für eine Zelle.

Tilgung und Verzinsung 10jährig mit 12 Proz.	1,60 ℳ
Wartung und Beaufsichtigung bei der Ladung	1,20 „
Schwefelsäure, destilliertes Wasser usw.	0,20 „
Zusammen	3,00 ℳ
Mithin jährliche Ausgaben für 1 V	1,50 ℳ

Bei voller Beanspruchung der Telegraphensammler mit 2,5 A betragen die Ausgaben für jedes W 1,5/2,5 = 0,6 ℳ, jedoch mindestens jährlich 1,50 ℳ, auch bei schwächerer Belastung.

Dazu kommen noch die Ausgaben für die Kupferelemente, aus denen die Sammler gespeist werden:

In Ruhestrombatterien für 1 W jährlich	29,00 ℳ
	+ 0,60 „
Zusammen rund	30,00 ℳ

In Arbeitsstrombatterien für $^1/_{24}$ W gleichmäßig fließenden Ladestrom jährlich $^{29}/_{24}$	1,20 ℳ
	+ 0,60 „
Zusammen	1,80 ℳ

2. Stromkosten.

a) **Stromverluste.** Da die Sammler nicht Stromquellen im eigentlichen Sinne, sondern Stromumsetzungszellen sind, kann bei ihnen nicht von den Kosten der Stromerzeugung, sondern nur von dem Wirkungsgrade der Umsetzung gesprochen werden.

Die aufgewendete Ladestrommenge (AS) wird nicht vollständig zur chemischen Umwandlung von Masse verbraucht; vielmehr geht ein Teil durch die Wasserzersetzung verloren. Durch Verwendung mäßiger Ladeströme und Herabminderung der Stromstärke am Schluß der Ladung lassen sich die Verluste auf 5 Proz. ermäßigen. Wenn aber eine Entladung mehrere Tage gedauert hat, ist man gezwungen, einige Zeit hindurch die Batterie zu überladen, um die wirksame Masse vollständig umzuwandeln und vor dem Sulfatieren zu schützen. Die Stromverluste werden dabei naturgemäß größer. Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe muß man deshalb mit einem durchschnittlichen Stromverluste von 10 Proz. rechnen. Vielfach ist der Betrag noch größer.

Auch durch Selbstentladung treten Stromverluste während der Entladung auf. Man kann sie im Durchschnitt mit täglich 1 Proz. der Kapazität, mithin bei fünftägiger Entladung mit 5 Proz. und bei zehntägiger Entladung mit 10 Proz. ansetzen. Danach beträgt der gesamte Stromverlust im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe 10 bis 20 Proz. Das Verhältnis der Entlade- zur Ladestrommenge, das man den Wirkungsgrad des Sammlers nennt, stellt sich danach auf 80 bis 90 Proz.

b) **Spannungsverluste.** Außer den Stromverlusten entstehen im Sammlerbetriebe noch Spannungsverluste. Bei der Ladung ist eine Spannung von 2 bis 2,75 V aufzuwenden. Als Durchschnittswert nimmt man im Starkstrombetriebe gewöhnlich 2,3 V an. Für Telegraphen- und Fernsprechbatterien muß der Betrag aber höher angesetzt werden, weil die Ladung länger ausgedehnt wird und infolge unvollständiger Entladung meist der unterste Teil der Spannungskurve fortfällt. Der Mittelwert beträgt danach 2,4 V. Bei der Entladung sinkt die Spannung in der Regel nicht unter 2 V. Das Verhältnis der gewonnenen zur aufgewendeten Spannung berechnet sich danach auf $2/2,4 = 84$ Proz.

c) **Nutzeffekt.** Aus dem Vorstehenden ergibt sich das Verhältnis der Energiemengen, das man Güteverhältnis oder Nutzeffekt nennt, zu 80×84 = rund 67 Proz. bis 90×84 = rund 75 Proz.

Gut gepflegte Batterien mit zweitägiger Entladung erreichen oft den höheren Wert. Bei den meisten Batterien aber ist der Nutzeffekt geringer. Für Telegraphenbatterien wird man durchweg nur 67 Proz. ansetzen können. Wenn sie während des Betriebes aus Kupferelementen geladen werden, so tritt ein wesentlicher Spannungsverlust nicht ein, da bei dem geringen Ladestrom die Zellenspannung nicht über 2,3 V steigt und diese für den Betrieb nutzbar verwendet wird. Die Stromverluste sind jedoch größer, weil die Ladebatterie meist dauernd angeschlossen ist. Beobachtungen im Betriebe haben einen Wirkungsgrad von 68,5 Proz. ergeben [1]). Man kann daher auch in diesem Falle einen Nutzeffekt von 67 Proz. annehmen.

---

[1]) E. T. Z. 1891, S. 128. Archiv f. P. u. T. 1891, S. 797.

Bei Berechnung von Betriebskosten kann man den Nutzeffekt von 67 Proz. in der Weise berücksichtigen, daß man den Preis des im Betriebe verbrauchten Stromes um die Hälfte höher ansetzt als den Bezugspreis. Bei der Entnahme aus Starkstromnetzen kostet im Durchschnitt 1 Kilowattstunde (KWS = 1000 Wattstunden) 0,20 ℳ, mithin 1 WS 0,0002 ℳ. Bei einem Nutzeffekt von 67 Proz. erhöht sich der Preis für den Betrieb auf 0,0003 ℳ.

d) Kosten im Telegraphenbetriebe. Nachstehend sind die Stromkosten für verschiedene Betriebsweisen von Telegraphensammlern berechnet.

α) Unmittelbare Netzladung. Bei unmittelbarer Ladung aus einem Gleichstromnetz ist ein Wärter nur zum Einschalten und Einstellen der Stromstärke nötig. Sonst hat er nur von Zeit zu Zeit nachzusehen und am Schluß der Ladung die Zellen zu beobachten. Die gesamte Bedienungszeit wird sich auf ein Fünftel der Ladezeit beschränken. Aus einem Netze mit 110 V lassen sich 40 Zellen gleichzeitig laden. Ihre Gegenspannung steigt zum Schluß der Ladung auf höchstens 40 × 2,75 = 110 V. Der stündliche Verbrauch an Energie beträgt bei 2,5 A Ladestrom 110 × 2,5 = 275 WS (Wattstunden). Davon werden nutzbar verwendet 275 × 0,67 = 180 WS. Sie verursachen an Bedienungskosten für 1/5 Stunde eines Wärters zu 0,30 ℳ also 0,30/5 = 0,06 ℳ. Danach kostet 1 WS

an Wartung 0,06/180	0,0003 ℳ
„ Strompreis	0,0003 „
Zusammen . . .	0,0006 ℳ.

Dieser Preis gilt aber nur in der Voraussetzung, daß die Netzspannung voll ausgenutzt werden kann. Können z. B. bei einer Ladespannung von 110 V nur zehn Zellen unter Ladung gesetzt werden, so erhöht sich der Gesamtpreis einer WS auf das Vierfache = 0,0024 ℳ. Ferner tritt eine Änderung ein, wenn der Ladestrom schwächer ist als 2,5 A, z. B. bei Telegraphensammlern mit Masseplatten (1 A). In diesem Falle erhöhen sich die Kosten der Bedienung auf den 2,5fachen Betrag = 0,0008 ℳ, überwiegen also bei weitem die eigentlichen Stromkosten.

β) Mittelbare Netzladung mit Umformer. Bei der Umwandlung des Netzstromes in einem Umformersatze kommt zu den Verlusten in den Sammlern noch ein Maschinenverlust, der von der Größe der Maschine abhängig ist. Ein Umformersatz für 30 V und 5 A gibt etwa 40 Proz. der aufgenommenen Energiemenge wieder her. Man kann danach den gesamten Nutzeffekt der Anlage mit 0,40 × 0,67 = 30 Proz. ansetzen. Von den aufgewendeten 150 W werden also 45 W nutzbar gemacht. Zur Überwachung der Maschine muß dauernd ein Wärter zugegen sein. Er kann aber nebenbei andere Arbeiten ausführen und wird daher nur für die Hälfte der Ladezeit anzusetzen sein. Es entfällt also für Bedienung auf 45 WS eine halbe Wärterstunde zu 0,30/2 = 0,15 ℳ. Danach kostet 1 WS

an Bedienung 0,15/45	0,0033 ℳ
an Stromkosten bei 30 Proz. Nutzeffekt das Dreifache des Netzpreises, d. i. 3 × 0,0002	0,0006 „
Gesamtkosten einer WS . . .	0,004 ℳ.

Wie bei unmittelbarer Netzladung erhöhen sich auch hier die Bedienungskosten, wenn die Ladestromstärke geringer ist. Bei 1 A Ladestrom kostet 1 WS an Bedienung 0,0033 × 2,5 = 0,0083 ℳ.

Aus einem Vergleiche der Zahlen unter α) und β) ersieht man, daß die unmittelbare Netzladung vorteilhafter ist als die Maschinenladung, selbst wenn die Netzspannung nur zu einem Viertel ausgenutzt werden kann.

γ) Ladung aus Kupferelementen. Kupferelemente liefern nach der Zusammenstellung auf der vierten Ausschlagtafel 1 WS zu 0,004 ℳ. Die Energie von Sammlern, die aus Kupferelementen gespeist werden, kostet danach bei 67 Proz. Nutzeffekt 0,006 ℳ für 1 WS. Besondere Bedienung ist für die Ladung nicht erforderlich.

Wie man sieht, sind die Kosten der Elementenladung gar nicht so ungünstig im Vergleich zur Umformerladung.

e) Kosten im Mikrophonbetriebe. Im Mikrophonbetriebe, für den sich die Sammler wegen ihres geringen Widerstandes besonders gut eignen, sind die Kosten für die verschiedenen Ladeweisen dieselben wie im Telegraphenbetriebe. Bei der Verwendung der Sammler in Teilnehmersprechstellen treten zu den gewöhnlichen Kosten noch besondere Aufwendungen hinzu. Wenn die Zahl der Sprechstellensammler so groß ist, daß ein besonderer Dienst für die Beförderung eingerichtet werden kann, so sind für jährlich viermalige Auswechselung 1 ℳ Kosten anzusetzen. Im Laufe eines Vierteljahres wird ein Sammler durch Selbstentladung fast vollständig erschöpft und durch Sulfatbildung stark geschädigt. Es muß daher bei der Ladung eine große Energiemenge aufgewendet werden. Für Sammler von 30 AS sind jährlich bei viermaliger Ladung mit einer durchschnittlichen Spannung von 2,4 V $4 \times 60 \times 2,4 = 600$ WS zu rechnen. Wegen der ungünstigen Betriebsergebnisse der Einzelspeisung mit Sammlern ist man zur Zentralbatterieversorgung übergegangen.

f) Kosten im Z. B.-Betriebe. Nachstehend sind die Strom- und Unterhaltungskosten für zwei Z. B.-Ämter mit verschiedenem Stromverbrauch berechnet.

A. Stromverbrauch täglich 1000 AS bei 24 V = 24000 WS.

Stromkosten bei 75 Proz. Wirkungsgrad in der Batterie und 65 Proz. in der Maschine oder 50 Proz. Gesamtwirkungsgrad und einem Netzpreise von 0,0002 ℳ für 1 WS $0,0002 \times 24\,000 \times 100/50$	10 ℳ
Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten gleich 50 Proz. der Stromkosten	5 „
Wartung, für einen Wärter täglich	4 „
Zusammen für 24000 WS . . .	19 ℳ
Mithin für 1 WS .	0,0008 ℳ.

Wenn zwei Wärter gehalten werden, erhöhen sich die Kosten.

B. Stromverbrauch täglich 200 AS bei 24 V = 4800 WS.

Stromkosten bei 75 Proz. Wirkungsgrad in der Batterie und 55 Proz. in der Maschine oder 40 Proz. Gesamtwirkungsgrad $0,0002 \times 4800 \times 100/40$.	2,4 ℳ
Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten gleich 50 Proz. der Stromkosten	1,2 „
Wartung, für einen Wärter täglich	4,0 „
Zusammen für 4800 WS . . .	7,6 ℳ
Mithin für 1 WS . .	0,0016 ℳ.

Auf die Sprechstelle entfällt von den aufgewendeten 24 V, wie die Kurvenzeichnungen des ersten Abschnittes zeigen, etwa ein Drittel. Der übrige Teil

ist als Verlust anzusehen. Also erhöht sich für die Sprechstelle der Preis der nutzbaren WS auf das Dreifache, nämlich auf 3 × 0,0008 = 0,0024 bzw. 3 × 0,0016 = 0,0048 ℳ.

Bei Lokalbatteriebetrieb kosten 40 WS aus Trockenelementen 3 ℳ, mithin 1 WS 3/40 = 0,075 ℳ, d. h. annähernd 31- bzw. 16-mal so viel.

g) Übersicht und graphische Darstellung. Zum Vergleich der Sammler mit den Primärelementen und Dynamos sind die Kosten nach den früher besprochenen Grundsätzen in die Übersicht auf der vierten Ausschlagtafel am Ende des Buches aufgenommen worden. Die in Spalte 18 angegebenen Beträge stellen die jährlichen Mindestkosten für 1 V bei sehr schwacher Belastung dar. Wenn die Zellen mit dem höchstzulässigen Strome belastet sind, gelten für 1 W die Summen der Spalte 19. Zu diesen jährlichen Kosten hat man die Stromkosten aus Spalte 22 hinzuzurechnen, um die Gesamtkosten (Spalte 23) zu ermitteln. Aus der Übersicht ergibt sich die große Überlegenheit des Sammlerbetriebes.

Noch deutlicher treten seine Vorteile in den graphischen Darstellungen für den Arbeits- und Ruhestrom (Fig. 20 u. 21 a. S. 25 u. 26) hervor. Die Schaulinien geben die Verhältnisse für verschieden großen Strombedarf an. Die unmittelbar aus dem Netz geladenen Sammler sind, wie ihre Schaulinie ergibt, bei weitem die billigste Stromquelle. Im Ruhestrombetriebe ist die Ladung mit Dynamos bereits wesentlich teurer. Die Ladung aus Kupferelementen würde im Ruhestrombetriebe mehr Kosten verursachen als die Speisung unmittelbar aus Kupferelementen, da diese auch ohne Sammler nach dem Gesetz der günstigsten Zellenzahl geschaltet werden können. Beim Arbeitsstrombetriebe ist, abgesehen von ganz geringem Strombedarf, in allen Fällen die Benutzung von Sammlern bedeutend billiger als die Verwendung von Primärelementen. Dies hat seinen Grund darin, daß die Sammler wegen ihres geringen Widerstandes eine große Anzahl von Leitungen gleichzeitig speisen können.

C. Dynamomaschinen und Stromumwandlungsapparate im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe.

I. Dynamomaschinen [1]).

1. Motor-Generatoren zur Sammlerladung.

a) Anordnung und Aufstellung. Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe verwendet man zur Sammlerladung in der Regel einen Motor-Generator, dessen beide Maschinen oft auf einer gemeinsamen Grundplatte

[1]) Allgemeines über Dynamomaschinen enthält der Anhang in einer kurzen Zusammenstellung. Sonst sei verwiesen auf: „Dr. Johs. J. C. Müller, Lehrbuch der Elektrotechnik", Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn, oder auf: „Professor J. Herrmann, Elektrotechnik, Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik", Leipzig, Sammlung Göschen.

stehen und unmittelbar miteinander verkuppelt sind. Die Grundplatte wählt man am besten aus Eisen, damit sie sich nicht verziehen und die Zentrierung der Ankerwelle nicht stören kann. In derselben Absicht werden die beiden Wellen nicht fest miteinander verschraubt, sondern durch eine lose Kupplung verbunden. Die zusammenstoßenden Enden der Wellen tragen je eine Eisenplatte mit mehreren Bolzen, die zwischen den Platten ineinandergreifen. Diese Bolzen werden in durchlöcherte Lederscheiben gesteckt, und so sind die beiden Wellen leicht löslich verbunden. Häufig wird durch ein um die Bolzen geschlungenes Lederband eine Verbindung hergestellt, die eine geringe Bewegung der beiden Anker gegeneinander gestattet. Zuweilen enthält die Verbindung eine Feder.

Bei großen Lademaschinen benutzt man häufig für beide Teile ein besonders gegossenes gemeinsames Magnetgehäuse und zwei auf einer gemeinsamen, nur zweimal gelagerten Welle sitzende Anker.

Um die Erschütterungen der Maschinen von den Wänden und dem Fußboden fernzuhalten, stellt man die Grundplatte meist auf eine schalldämpfende Unterlage. Als solche haben sich Filz- oder Korkplatten nicht bewährt, weil sie sich zusammendrücken. Am geeignetsten sind Spiralfedern, deren Größe und Stärke erprobt werden müssen. Sie dürfen aber keine Führungsbolzen erhalten, weil diese das Geräusch übertragen. Die Federn greifen in eine unter das gemeinsame Magnetgehäuse gelegte Holzplatte ein. Um die Maschine gegen das Kippen zu schützen, werden Federn auch seitlich angebracht.

Zur Aufstellung der Maschinen dient ein gemauertes Fundament, das auf die Balken gesetzt wird. In das Mauerwerk werden Fundamentanker eingesetzt. Des besseren Aussehens wegen verkleidet man den Unterbau gern mit weißen Kacheln. Auch die Wände des Maschinenraumes werden zuweilen bis zu einer gewissen Höhe mit Kacheln bedeckt, deren Fugen aber sorgfältig verstrichen werden müssen, weil sich sonst das von der Maschine abgeschleuderte Öl hineinsetzt. Im allgemeinen ist ein Ölfarbenanstrich für die Wände des Maschinenraumes am billigsten und zweckmäßigsten. Für den Fußboden eignet sich jeder gewöhnliche Belag. Zu empfehlen ist Linoleum, da es zugleich isoliert. Fliesen haben, abgesehen von ihren Kosten, den Nachteil, daß sie nach dem Reinigen mit Wasser Übergänge zur Erde bilden, und daß daher Personen mit feuchtem Schuhwerk beim Berühren spannungsführender Klemmen oder Widerstände Strom erhalten können.

b) **Wirkungsgrad.** Der Motor-Generator setzt die aufgenommene Leistung nicht ohne Verluste um; sie entstehen beim Betriebe aus folgenden Ursachen:

Reibung in den Lagern und an den Bürsten, Luftreibung am Anker;

Stromwärme im Anker, im Kommutator, in den Feldmagneten und Regulierwiderständen;

Hysteresis und Wirbelströme im Eisen;

Übergangswiderstand zwischen dem Kommutator und den Bürsten.

Das Verhältnis der abgegebenen zur zugeführten Leistung nennt man den Wirkungsgrad einer Maschine. Er ist bei großen Maschinen günstiger als bei kleinen. Die nachstehende Übersicht gibt den Wirkungsgrad für Motoren und Generatoren von verschiedener Leistung bei etwa 1500 Um-

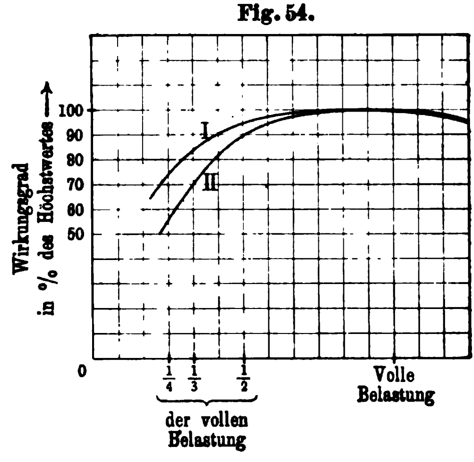
drehungen in der Minute an. Die Zusammenstellung führt immer einen zusammenpassenden Satz von Motor und Generator nebeneinander auf und enthält in der letzten Spalte ihren Gesamtwirkungsgrad.

Wirkungsgrad von Motor-Generatoren bei voller Belastung.

Motor			Generator			Gesamtwirkungsgrad
Stromaufnahme Watt	Leistung PS	Wirkungsgrad Proz.	Kraftverbrauch PS	Leistung Watt	Wirkungsgrad Proz.	Proz.
22	1/100	33	1/100	1,5	20	7
92	1/16	50	1/16	18	40	20
368	1/3	67	1/3	150	60	40
1 000	1	74	1	500	70	50
1 800	1,8	75	1,8	1 000	74	56
3 200	3,4	80	3,4	2 000	79	63
4 500	5	82	5	3 000	82	67
8 800	10	84	10	6 200	84	70
17 000	20	86	20	12 700	86	74

Aus der Übersicht ist zu entnehmen, daß der Wirkungsgrad kleiner Maschinensätze sehr gering wird. So hat z. B. ein Satz zur Erzeugung von 150 Watt nur 40 Proz. Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad einer Maschine ist bei voller Erwärmung, die zuweilen erst nach 10-stündigem Betriebe eintritt, festzustellen. Wenn keine besonderen Hilfsmittel dazu zur Verfügung stehen, kann die Ermittelung in der Weise geschehen, daß die Zeit festgestellt wird, in der der Elektrizitätszähler um eine gut ablesbare Einheit (WS) vorrückt. Wird die Ablesung durch die in Stunden ausgedrückte Zeit (z. B. 10 Minuten $= {}^{10}/_{60}$ Std.) dividiert, so erhält man die durchschnittliche Stromaufnahme des Motors in W. Die Stromabgabe des Generators ergibt sich aus dem Produkt von Stromstärke und Spannung. Das Verhältnis der Abgabe zur Aufnahme stellt den Wirkungsgrad dar. Um die Berechnung der Stromabgabe zu erleichtern, empfiehlt es sich, die Prüfung am Schluß einer Ladung vorzunehmen, weil dann die Sammlerspannung nicht mehr steigt und daher auch der Ladestrom ziemlich gleichmäßig ist.

Fig. 54.



Abnahme des Wirkungsgrades mit der Belastung.
I. Motor oder Generator. II. Motor-Generator.

Die Werte der Übersicht gelten nur für vollbelastete Maschinen; bei schwächerer Belastung wird der Wirkungsgrad geringer. **Fig. 54** zeigt in der Schaulinie I, wie der Wirkungsgrad eines Motors oder Generators mit abnehmender Belastung hinter seinem höchsten Werte zurückbleibt. In

einem Motor-Generator tritt der Abfall in beiden Maschinen ein. Die Verhältnisse des Motor-Generators ergeben sich aus Schaulinie II. Er hat bei halber Belastung nur 90 Proz. und bei Viertelbelastung nur 60 Proz. seines höchsten Wirkungsgrades. Ein Motor-Generator nahm bei leer laufender Dynamo 1,8 A und bei voller Belastung 15 A auf. Er verbrauchte also für Reibung, die von der Belastung wenig abhängig ist, 1,8/15 = 12 Proz. des Gesamtverbrauches. Bei 65 Proz. Wirkungsgrad war danach etwa ein Drittel der Verluste auf Reibung zurückzuführen.

Drehstrommotoren nehmen bei Leerlauf ein Drittel bis die Hälfte des normalen Betriebsstromes auf. Ihr Wirkungsgrad ist daher bei sehr schwacher Belastung noch ungünstiger, als die Fig. 54 angibt. Er ändert sich aber bei mäßiger Abnahme der Belastung nur wenig.

c) **Verhalten der Lademaschinen.** Allgemeines. Die EMK des Generators ist abhängig von der Umdrehungszahl und der Stärke des magnetischen Feldes. Wenn der Nebenschluß des Motors einen regulierbaren Vorschaltwiderstand hat, läßt sich durch Erhöhung des Widerstandes die Umdrehungszahl vergrößern und die EMK des Generators erhöhen. Da die meisten Ladesätze aber keinen Motor-Regulierwiderstand besitzen, ist die Umdrehungszahl der erwärmten Maschine als gleichbleibend anzusehen. Bis zur vollen Erwärmung erhöht sich aber die Umdrehungszahl der Maschine; namentlich tritt in der ersten halben Stunde nach dem Einschalten eine merkliche Zunahme ein. Man kann daher oft beobachten, daß die Stromstärke des Generators nach dem Einschalten steigt, obgleich die Erwärmung des Generatornebenschlusses und die zunehmende Gegenspannung der Sammler dem entgegenwirken. Ihr Einfluß kommt aber anfänglich nicht zur Geltung. Später bewirkt dann die steigende Sammlerspannung eine Abnahme der Ladestromstärke. Um den Strom auf gleicher Höhe zu erhalten, schaltet man einen Teil des Nebenschluß-Regulierwiderstandes aus und erhöht so durch Verstärkung des magnetischen Feldes die EMK des Generators. Der Widerstand muß eine genügende Anzahl von Stufen haben, damit nicht beim Übergang von einem Kontakt zum anderen erhebliche Änderungen in der Stromstärke eintreten. Der Unterschied sollte nicht mehr als 10 Proz. betragen. Wenn der Motor ebenfalls einen Nebenschlußregulator hat, kann dieser zur Feinregulierung benutzt werden, da er nur geringe Änderungen in der Umdrehungszahl und EMK des Generators hervorbringt.

Stromstärke und Spannung. Die Sammlerspannung steigt bei Beginn der Ladung schnell auf 2,2 V, nimmt dann langsam zu bis auf 2,4 V und erhöht sich schließlich schneller bis auf 2,6 oder 2,8 V. Die Werte schwanken mit der Ladestromstärke und der Säuredichte. Soll die Ladung mit einer bestimmten, gleichbleibenden Stromstärke durchgeführt werden, so muß die Spannung zum Schluß stark erhöht und sowohl der Motor als auch der Generator für eine Leistung, die nur kurze Zeit erforderlich ist, bemessen werden. Es empfiehlt sich deshalb, am Schlusse der Ladung die Maschinenspannung durch Herabminderung der Stromstärke zu erhöhen und eine kleinere Maschine zu benutzen. Wurde z. B. bei einem Generator die Stromstärke von 150 auf 100 A vermindert, so stieg seine Klemmenspannung von 27 auf 28 V; bei halber Stromstärke war sie 1,5 V höher. Außer diesem Gewinn tritt noch eine Ersparnis im Spannungsverbrauch der Batterie und

der Zuleitungen ein. Eine Sammlerbatterie hatte bei einer Stromstärke, die der fünfstündigen Ladung entsprach, zu einer bestimmten Zeit 29,8 V Gegenspannung und bei halbem Strom nur 27,8 V, also 2 V weniger. Der Spannungsverlust in den Zuleitungen betrug bei voller Stromstärke auf dem Wege von der Maschine bis zur Schalttafel und von dort bis zur Batterie je 0,5 V, zusammen 1 V. Durch Ermäßigung der Stromstärke auf die Hälfte läßt sich auch hier 0,5 V ersparen. Der Gesamtgewinn beträgt danach $1,5 + 2 + 0,5 = 4$ V.

Zur Ladung einer 12-zelligen Fernsprechbatterie reicht danach eine Maschine aus, deren Generatorspannung von 24 bis auf 29 V heraufreguliert werden kann, und deren höchste Motorleistung dem Produkt 29 J (J voller Ladestrom) unter Hinzurechnung der Generatorverluste entspricht. Bei 29 V Generatorspannung und 1 V Verlust in den Zuleitungen beträgt die Zellenspannung der Sammler $(29 - 1)/12 = 2,33$ V. Soll bis zu 2,4 V Zellenspannung mit voller Stromstärke geladen werden, so muß die höchste Generatorspannung 30 V betragen. Ist der höchste Spannungswert des Generators und zugleich die höchste Leistungsfähigkeit des Motors erreicht, so wird die Spannung weiter durch Ermäßigung der Stromstärke erhöht. Zu diesem Zwecke läßt man die Stromstärke allmählich durch die steigende Sammlerspannung herunterdrücken. Dabei fällt aber die Stromstärke schneller ab, als nach der Spannungserhöhung und der Motorleistung erforderlich wäre. Sie sinkt schließlich unter die Hälfte der normalen Stromstärke. Will man daher den letzten Teil der Ladung wegen der Zeitersparnis und besseren Ausnutzung der Maschine nicht allzu lange ausdehnen, so sollte die höchste Generatorspannung nicht unter 30 V betragen. Wenn es erforderlich ist, kann nach den Bestimmungen der Maschinennormalien der Motor oder Generator $^1/_2$ Stunde lang mit 25 Proz. überlastet werden.

Die Ladeverhältnisse sind stark von der Säuredichte der Sammler abhängig. Wie auf S. 83 erörtert ist, wirkt die Ermäßigung der Stromstärke am Schlusse der Ladung sehr vorteilhaft auf die Erhaltung der Sammler ein. Andererseits wird aber die Beobachtung der Gasentwicklung, die das beste Merkmal für den Abschluß der Ladung bildet, erschwert, wenn es nicht möglich ist, die Lademaschine zeitweise auf vollen Strom zu bringen. Schließlich wird auch die Feststellung der Ladestrommenge, die im Verein mit den Aufzeichnungen über den Stromverbrauch ein gutes Mittel zur Überwachung der Batterie bietet, bei abfallender Stromstärke ungenau.

d) Amerikanische Dynamos für Fernsprechbetrieb. In Amerika findet während der Tagesstunden mit starkem Verkehr die Speisung der Vermittelungsämter in der Regel unmittelbar aus der Maschine unter Parallelschaltung der Batterie statt. Für diese Betriebsweise bedarf es besonderer Einrichtungen, da der Strom eines gewöhnlichen Generators nicht genau gleichbleibend ist, sondern fast unmerkliche kleine Schwankungen aufweist, die im Fernhörer einen singenden Ton hervorbringen. Um das Geräusch abzudämpfen, schaltete man früher in die ungeerdete negative Zuleitung eine große Drosselspule mit einem Kern aus dünnen Eisendrähten. Der Schutz genügte aber so wenig, daß man vielfach die Ladung auf die Nachtzeit beschränken mußte. Jetzt baut die Firma Holtzer-Cabot für den unmittel-

baren Betrieb besondere Maschinen, die einen gleichmäßigeren Strom liefern. Sie haben bedeutend mehr Ankerspulen. Infolgedessen ist eine so große Anzahl sich überdeckender kommutierter Wechselströme vorhanden, daß die kleinen Schwankungen verschwinden. Zugleich wird auf diese Weise die Anzahl der Kommutatorlamellen vergrößert und so der Unterschied der EMK, der sich aus der Verminderung der Spulenzahl beim Kurzschluß zweier Spulen durch die Bürste ergibt, verringert. Dazu trägt ferner noch der Umstand bei, daß die Bürsten sehr breit sind und gleichzeitig drei Lamellen überdecken. Auch der magnetische Kreis ist so eingerichtet, daß er keine Stromschwankungen verursachen kann. Bei den gewöhnlichen Ankern, die in der Regel Nuten haben, drängen sich die Kraftlinien in den Ankerzähnen zusammen. Infolgedessen treten in einem Zahn schnelle Änderungen in der Kraftlinienzahl auf, sobald er an den Pol herantritt oder sich davon entfernt. Die amerikanischen Maschinen haben deshalb glatte Anker. Auch die Polschuhe sind so geformt, daß die Ankerleiter so langsam wie möglich in das magnetische Feld eintreten und es ohne starken Übergang verlassen. Durch diese Mittel und eine gute mechanische Bauart der Maschinen ist es ermöglicht, die Kreise des Vermittelungsamts unmittelbar zu speisen.

Bei der Regulierung des Nebenschlußwiderstandes von Generatoren ändert sich die Feldstärke und demnach auch die Stromstärke des Ankers stufenweise. Um die Stufen auf $^1/_{15}$ zu verkleinern, baut die Firma Holtzer-Cabot zu dem Hauptregulierwiderstande noch einen Feinregulierwiderstand mit 15 Stufen ein, deren Gesamtwert gleich einer Stufe des Hauptwiderstandes ist.

2. Rufmaschinen.

a) **Motor-Generatoren.** Für Z.B.-Ämter benutzt man zum Anrufen der Teilnehmer Wechselstrommaschinen, die mit Starkstrom angetrieben werden. Für den Hauptverkehr dient bei der Reichs-Telegraphenverwaltung ein aus dem öffentlichen Netz anzutreibender Motor-Generator, bestehend aus zwei durch Lederscheiben verbundenen Maschinen auf gemeinsamer Grundplatte (**Fig. 55**). Er hatte früher 900 Umdrehungen in der Minute (15 in der Sekunde) und macht jetzt 1500 (25) Umdrehungen. Beide Maschinen sind zweipolig. Der Generator erzeugt daher 25 Perioden. Für Wechsel- oder Drehstromnetze dienen vierpolige Induktionsmotoren, die bei Speisung mit der üblichen Zahl von 50 Perioden ebenfalls annähernd 25 Umdrehungen in der Sekunde machen. Für eine unmittelbare Benutzung ist die Periodenzahl des Netzstromes (50) zu hoch.

Die Eigenschaften der Doppelmaschine ergeben sich für verschiedene Belastung aus den Schaulinien der **Fig. 56.**

Die Wechselstromspannung beträgt 50 V bei 3,2 A. Sie bleibt bei zunehmender Belastung annähernd auf derselben Höhe. Dies ist dadurch erreicht, daß der Generator außer der gewöhnlichen Schenkelbewicklung noch eine zweite Wicklung von wenigen Windungen starken Drahtes (Doppelschluß-, Compoundwicklung) hat, die vor den Motoranker geschaltet ist. Da bei zunehmender Belastung die Stromaufnahme des Motorankers steigt, wird zugleich das Feld des Generators verstärkt und so der Einfluß

Fig. 55.

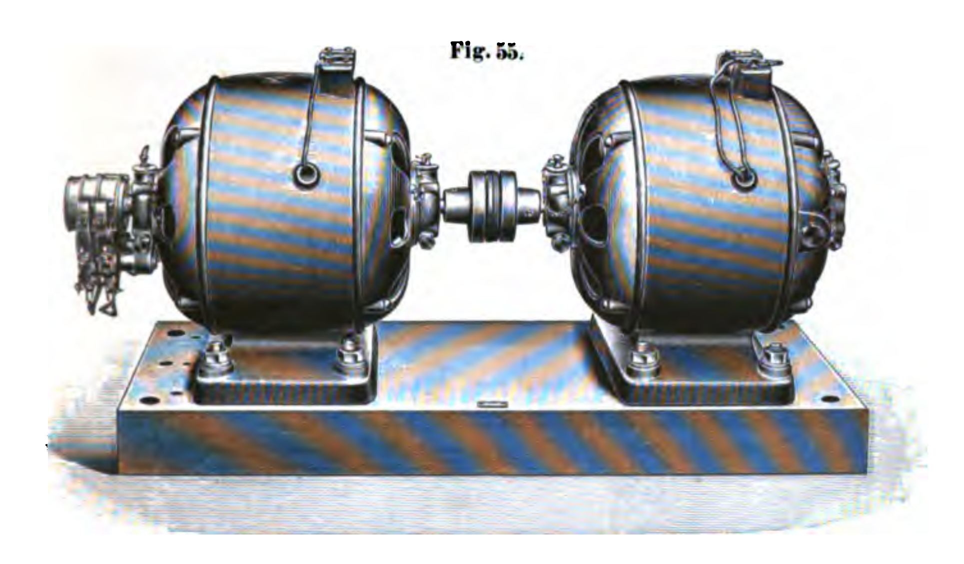
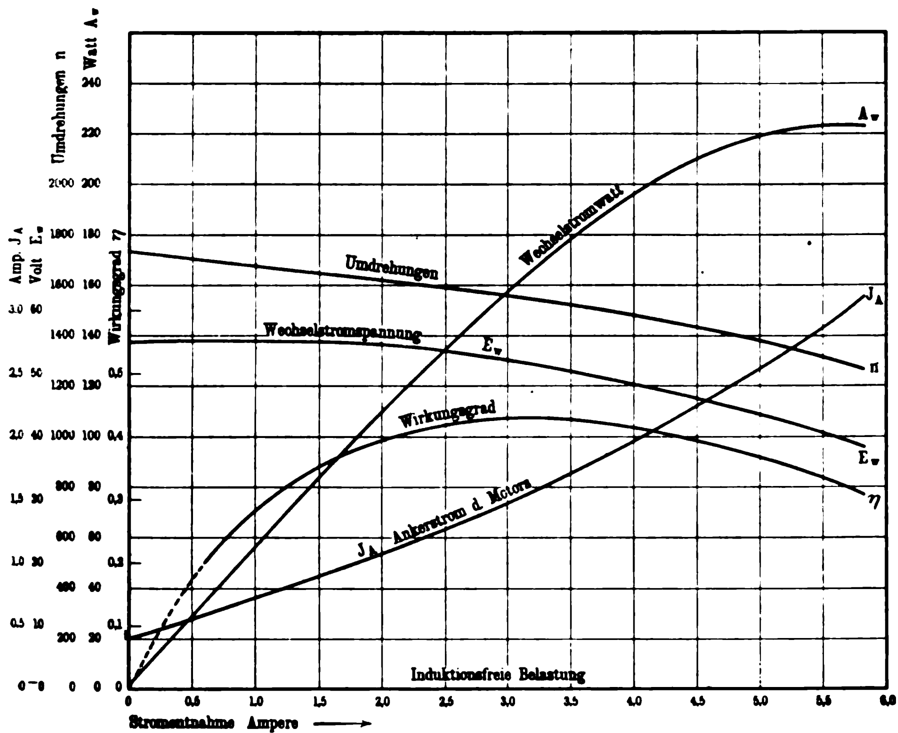




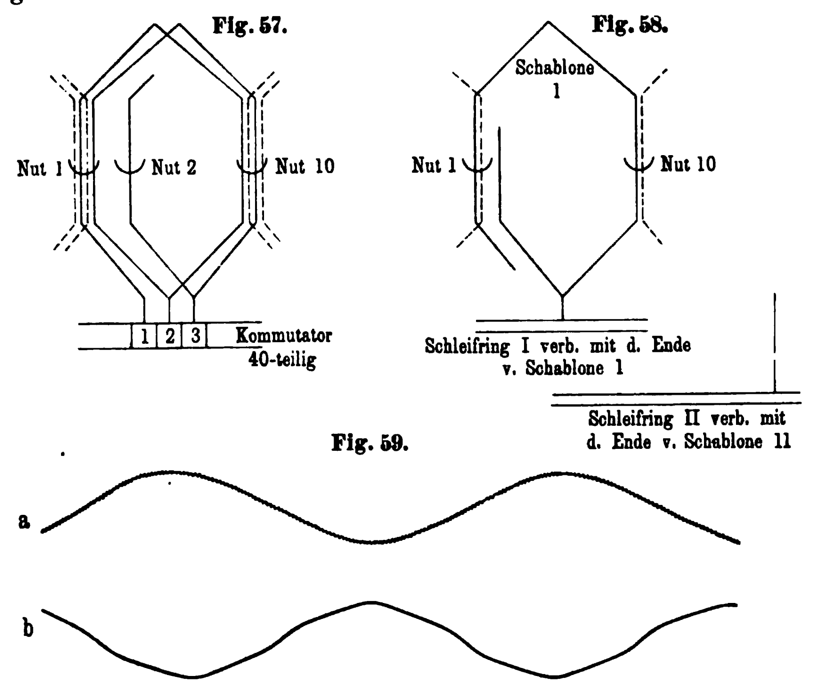
Fig. 56.



der Ankerrückwirkung und des Ohmschen Spannungsverlustes ausgeglichen. Die Widerstandswerte der Anker- und Feldwicklungen für 15° C Lufttemperatur ergeben sich aus nachstehender Zusammenstellung:

	Widerstand kalt Ohm	Widerstand warm Ohm	Temperaturzunahme °C	Stromaufnahme A
Generator:				
Anker	3,42	4,075	49	—
Nebenschlußwicklung	3565	4025	33,5	0,0434
Doppelschlußwicklung	4,81	5,665	46	—
Motor:				
Anker	13,28	15,18	38	—
Nebenschlußwicklung	925	1140	59,5	0,19

Die Wicklungsart des Motor- und des Generatorankers zeigen die **Fig. 57** und **58.** In beiden Maschinen hat der Anker 20 Nuten. Eine

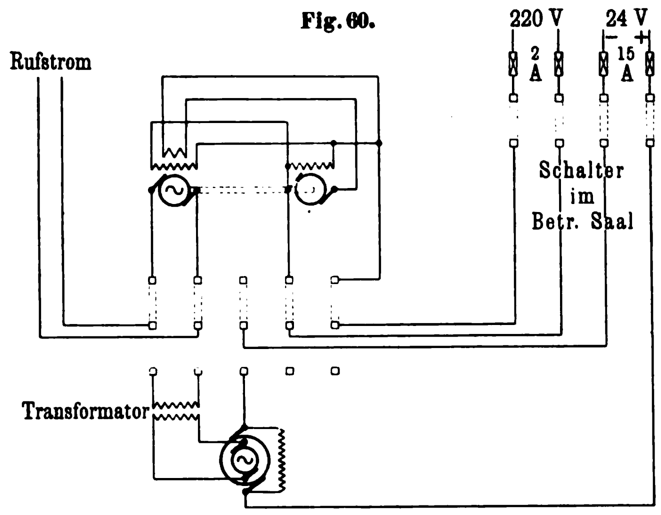


Wicklungsschablone liegt immer in zwei Nuten, die um neun auseinanderstehen, z. B. 1 und 10, 2 und 11 usw. Sie enthält beim Motor zwei Schleifen, von denen jede aus mehreren Leitern besteht, und beim Generator eine Schleife. In eine Nut sind immer die Leiter von zwei Schablonen gelegt. Die Leiter setzen sich zu einer fortlaufenden Wicklung zusammen. Sie enthält beim Motor 40 Windungen, die an die 40 Kommutatorteile angeschlossen sind. Der Generator hat 20 Windungen, die an zwei einander gegenüberliegenden Stellen mit zwei Schleifringen verbunden sind.

Wegen des genuteten Ankers liefert die Maschine eine EMK, die kleine Oberschwingungen aufweist, wie **Fig. 59** unter *a* zeigt. Unter *b* ist die EMK einer Maschine mit glattem Anker dargestellt. Sie ist zwar nicht ganz sinusförmig, aber frei von Oberschwingungen.

Die Schaltung der Rufmaschine zeigt **Fig. 60.** Der fünfpolige Schalter schließt bei Stellung nach oben die Doppelmaschine und bei Stellung nach

Fig. 60.



Rufmaschinen-Schaltung.

unten eine aus der Batterie anzutreibende zweite Rufmaschine (siehe unter b) zugleich an den Erreger- und den Verbrauchskreis an. Damit die Maschine



Fig. 61.

während der verkehrslosen Nachtstunden vom Betriebssaal aus abgeschaltet werden kann, ist dort ein vierpoliger Schalter angebracht.

Die Maschine läuft ohne Anlasser an.

b) Umformer. Für den Fall, daß die Netzspannung versagt oder die Doppelmaschine beschädigt wird, ist bei jedem Amte eine zweite Rufmaschine

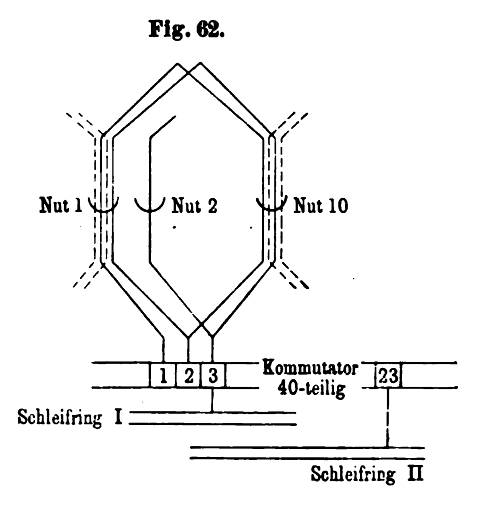
vorhanden, die aus der Z. B. mit 24 V angetrieben wird (**Fig. 61**). Sie besteht nicht aus Motor und Generator, sondern hat nur einen Anker mit einer Wicklung, in der zugleich der Motorstrom wirkt und der Wechselstrom erzeugt wird. Diese Anordnung, die man Umformer nennt, hat einen günstigeren Wirkungsgrad als Motor-Generatoren. Die Schaltung ergibt sich aus dem Schaltungsschema der Fig. 60. Die Wicklungsart zeigt **Fig. 62.** Wie man sieht, sind zwei gegenüberliegende Stellen der gewöhnlichen Ankerwicklung an Schleifringe gelegt. Es entstehen so zwei Wicklungshälften, die parallel zueinander geschaltet sind und bei der Drehung des Ankers im magnetischen Felde Wechselstrom erzeugen. Daß dieselbe Wicklung zugleich vom Motorstrom durchflossen wird, stört den Wechselstrom nicht; beide Ströme lagern sich übereinander.

Fig. 63.



Die von dieser Maschine gelieferte Spannung beträgt 13 V. Damit sie auf 50 bis 60 V erhöht wird, ist der in Fig. 60 angedeutete und in **Fig. 63** dargestellte Transformator eingeschaltet.

Fig. 62.

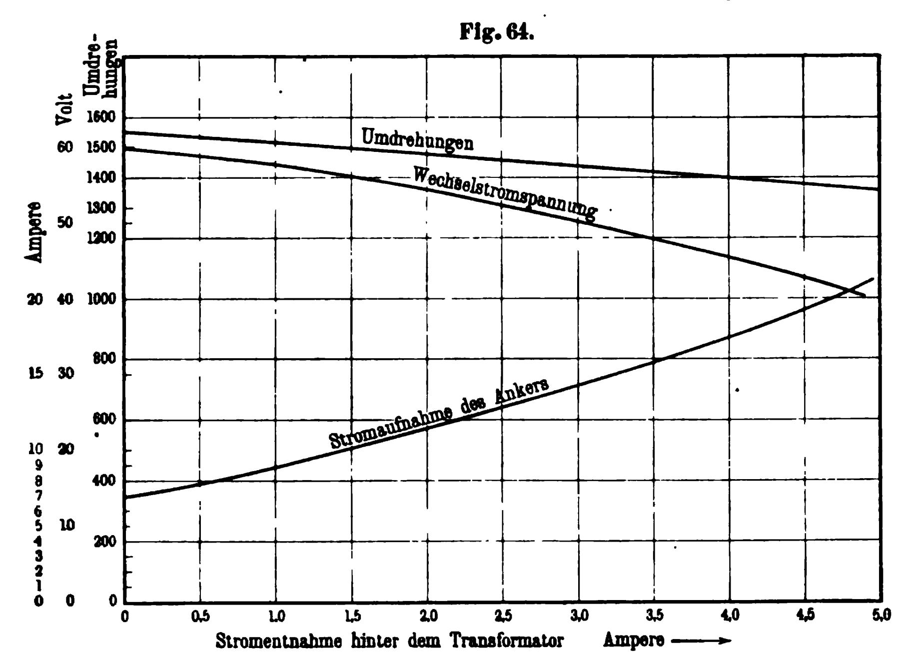


Wie die Belastungscharakteristik in **Fig. 64** zeigt, sinkt die Klemmenspannung, da die Einankermaschine keine Compoundwicklung hat, bei zunehmender Belastung unter den Anfangswert von 60 V. Der Grad der Abnahme ist in der Regel nicht allein von den Eigenschaften der Maschine, sondern auch stark von dem Widerstande der Zuleitungen abhängig, da diese einen Strom von erheblicher Stärke und wechselnder Größe zu führen haben. Im vorliegenden Falle beträgt die zugeführte Spannung an den Klemmen der Maschine bei Leerlauf 23,5 V und bei höchster Belastung 22,5 V. Die Zuleitungen haben danach einen Widerstand von 0,07 Ohm.

Die Schenkelbewicklung hat 11,3, der Anker 0,079 Ohm Widerstand.

c) **Amerikanische Rufeinrichtungen**[1]). In Amerika benutzt man Rufeinrichtungen von ähnlicher Bauart. Es ist ebenfalls in der Regel ein aus dem Netz angetriebener Motor-Wechselstromgenerator und ein aus der Batterie gespeister Einankerumformer, jedoch mit einer besonderen Wicklung für den Wechselstrom, vorhanden. Die Doppelmaschine wird häufig mit einem Anlasser eingeschaltet, ebenso zuweilen der Umformer. Die Motoren leisten meist $^1/_2$ PS. Die Maschinen liefern in der Regel 75 bis 100 V bei etwa 1000 Perioden in der Minute. Für Gesellschaftsleitungsbetrieb werden 2000, 4000, 6000 und 8000 Perioden in vier auf einer gemeinsamen Welle sitzenden Wechselstrommaschinen erzeugt. Da beim Gesellschaftsleitungsbetriebe die Innehaltung der Periodenzahl von großer Wichtigkeit ist, speist man den

Fig. 64.



Motor nicht aus dem Netze, dessen Spannung Schwankungen unterliegt, sondern aus der Batterie. Wo nur eine Batterie vorhanden ist, gleicht man die bei der Ladung auftretende Spannungserhöhung durch irgend ein Mittel, z. B. kleine Kompensationsbatterien, aus.

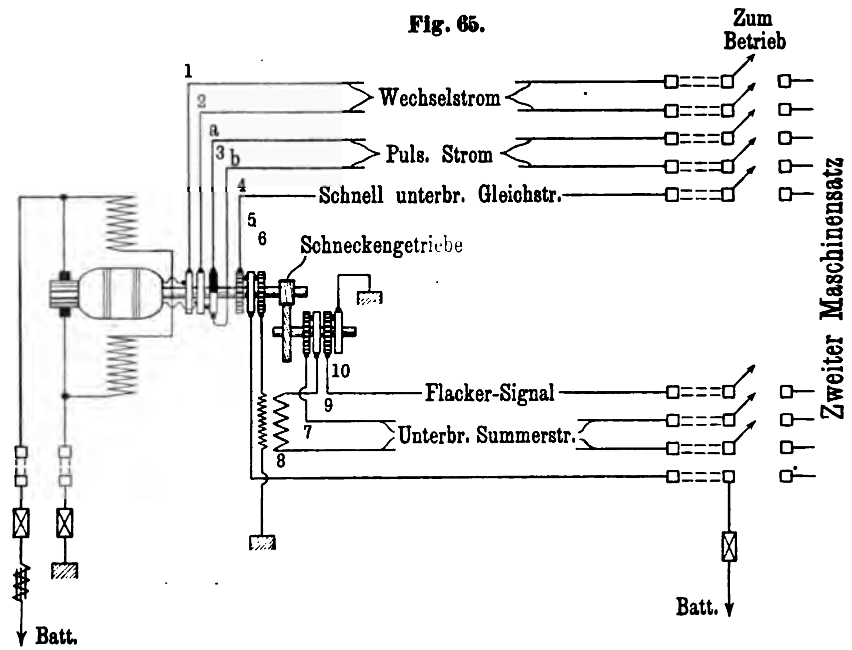
Die übliche Schaltung der amerikanischen Rufmaschinen ergibt sich aus **Fig. 65.** Sie zeigt im rechten Teile zwei Sätze von verkuppelten Umschaltern, an die rechts und links die beiden Maschinen angeschlossen sind, während am Drehpunkte die Betriebszuleitungen liegen. In den Motorkreis des Batterieumformers ist eine Drosselspule eingeschaltet. Sie hat die Aufgabe, den Motorstrom, der wegen der Kommutierung an den Bürsten kleine Schwankungen aufweisen würde, möglichst gleichmäßig zu machen und so die Übertragung des Kollektorgeräusches in die mit der Batterie verbundenen Sprechkreise zu verhüten.

---

[1]) Kempster B. Miller, Telephone Practice, S. 547; The American Telephone Journal 1906, S. 35.

Die Enden der Wechselstromwicklung sind an zwei Schleifringe gelegt. Außer diesen sitzen auf der Welle noch andere Schleifringe und Kollektoren, die besondere Ströme liefern. Der dritte Ring besteht zur Hälfte aus isolierendem Material und zur Hälfte aus Metall. Letztere ist mit dem zweiten Schleifring verbunden. Auf dem Ringe schleifen zwei Bürsten, die um 180° gegeneinander verschoben sind, so daß immer die eine das Metallstück berührt, während die andere isoliert ist. Schaltet man einen Stromkreis zwischen den ersten Wechselstromring und die obere Bürste des dritten Ringes, so erhält er nur die positiven Kuppen des Wechselstromes. Umgekehrt fließen in einen zwischen den ersten Ring und die untere Bürste des dritten Ringes gelegten

Fig. 65.



Stromkreis nur die negativen Stromteile. Der dritte Ring liefert also zwei pulsierende Ströme von verschiedener Richtung, wie sie zum Anruf im Gesellschaftsleitungsbetriebe dienen.

Der Rand des vierten und sechsten Ringes besteht aus wechselnden nichtleitenden und leitenden Stücken, von denen die letzteren über den fünften glatten Schleifring mit der Batterie verbunden sind. Die Bürsten 4 und 6 erhalten daher mit Unterbrechungen Anschluß an die Zentralbatterie und liefern schnell aufeinanderfolgende Gleichstromstöße. Diese dienen in Leitung 4 zum Anruf solcher Teilnehmer, die den Hörer nicht wieder angehängt haben und durch einen heulenden Ton der Hörermembran auf diese Unterlassung aufmerksam gemacht werden. Der sechste Schleifring speist die primäre Windung eines Übertragers mit annähernd 400 Ohm Widerstand. Es entstehen so in der sekundären Windung von etwa 0,1 Ohm Summerströme, die im Dienstleitungsbetriebe als Signale Verwendung finden. Um mehrere Zeichen zu erzielen, läßt man vielfach den Summerstrom durch Kommutatorscheiben in verschiedenartiger Weise unterbrechen. Die Scheiben

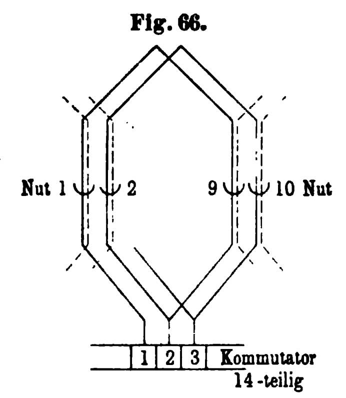
sitzen, wie die Abbildung erkennen läßt, auf einer zweiten Welle, die von der Ankerwelle durch ein Schneckengetriebe langsam bewegt wird. In den Leitungen 7 und 8 entsteht dabei ein Summergeräusch mit gleichmäßigen Unterbrechungen. Durch Benutzung mehrerer Scheiben mit ungleichartig angebrachten Metallstücken lassen sich die verschiedenartigsten Zeichen erzeugen.

Auf der langsam laufenden Welle dient das letzte Scheibenpaar zur Herstellung eines Erdschlusses mit bestimmten Zwischenpausen. Diese Einrichtung wird benutzt, um eine Überwachungslampe zum Flackern zu bringen.

3. Hughesmotoren [1]).

a) Bauart. Für den Antrieb der Hughesapparate verwendet die Reichs-Telegraphenverwaltung Hauptstrommotoren, da sie mit voller Belastung anlaufen müssen. Sie haben ein zweipoliges Magnetgestell mit einer Wicklung auf dem Schenkeljoch und einen Trommelanker aus geblättertem Eisen. Er hat 14 Nuten, in denen bei Gleichstrommotoren 14 Schleifen von je sechs Windungen aus lackisoliertem Kupferdraht liegen. Jede Ankernut nimmt die Drähte von zwei Schleifen auf. Das Wicklungsschema zeigt **Fig. 66**, der Übersichtlichkeit halber jedoch nur mit einem Draht in jeder Spule. Die Feldmagnete sind zur Verhütung von Wirbelströmen aus unterteiltem Eisen hergestellt.

Fig. 66.



Für die Wechselstrommotoren werden dieselben Feldmagnete und Anker benutzt. Sie haben die gleiche Bauart und Wirkungsweise wie die Gleichstrommotoren. Die Windungszahl der Spulen ist jedoch geringer, dafür aber die Anzahl der Spulen und der Kommutatorteile doppelt so groß wie bei den Gleichstrommotoren. Dementsprechend sind je vier Spulen in eine Ankernut gelegt. Im übrigen entspricht das Wicklungsschema der Fig. 66; die Bürsten überdecken aber stets zwei Kommutatorteile, und der Strom durchläuft den Anker auf vier parallelen Wegen.

b) Betriebsverhältnisse. Für die übliche Anzahl von 110 bis 120 Schlittenumdrehungen = 800 Motorumdrehungen in der Minute ergeben sich die Betriebsverhältnisse der Hughesmotoren aus der nachstehenden Übersicht. Der Hughesapparat erfordert beim Arbeiten eine Motorleistung von rund 0,002 PS. Wie die Übersicht zeigt, leisten die Hughesmotoren etwa das Doppelte. Von den Motoren werden zwei Arten für Gleichstrom von 110 und 220 V und eine dritte Art für Wechselstrom von 120 V gebaut. Der Wechselstrommotor wird auch für Drehstrom unter Einschaltung in eine Phase verwendet. Die Wechselstrommotoren lassen sich aber auch mit Gleichstrom aus 20- oder 24-voltigen Fernsprechbatterien betreiben. Dabei ist ihre Stromaufnahme größer als bei Gleichstrommotoren für 110 oder 220 V. Auch beim Betriebe mit 120 V Wechselstrom nimmt der Motor einen starken Strom

[1]) Blätter für P. u. T. 1907, S. 311.

auf. Da aber der $\cos\varphi$ nur 0,32 beträgt, ist die aufgenommene Leistung ($e \cdot i \cdot \cos\varphi$) nicht erheblich größer als bei den anderen Motoren.

Die Betriebskosten sind bei den aus dem Netz gespeisten Motoren annähernd gleich groß. Bei Speisung mit 24 V Gleichstrom nimmt der Wechsel-

Stromart	Widerstand		Aufgenommene Leistung			Betriebskosten für 1 Stunde bei einem Strompreise von 0,2 ℳ für 1 KWS	Abgegebene Leistung	Wirkungsgrad	Bemerkungen
	Feldbewicklung	Anker							
	Ohm	Ohm	V	A	W	ℳ	PS	Proz.	
Gleichstrom	500	30	110	0,14	15	0,003	0,0038	18	
Gleichstrom	1500	50	220	0,09	20	0,004	0,0046	17	
Wechselstrom	10,6	10,4	120	0,54	21[1]	0,0042	0,0037	13	
Derselbe mit 24 V Gleichstrom	10,6	10,4	24	0,51	12	0,0072[2]	0,0041	25	[1]) $\cos\varphi = 0{,}32$ [2]) Strompreis dreifach, weil 50 Proz. Verlust in der Lademaschine und Batterie, außerdem Verzinsung, Tilgung, Wartung

strommotor zwar bedeutend weniger Energie auf als die übrigen Motoren; wenn man aber berücksichtigt, daß der aus einer Fernsprechbatterie entnommene Strom wegen der Verluste in Maschinen und Sammlern etwa doppelt so teuer ist wie der Netzstrom, und daß auch für Tilgung und Verzinsung der Anlagekosten und Wartung der Anlage ein Betrag anzusetzen ist, erhält man in diesem Falle höhere Betriebskosten als bei den anderen Motoren.

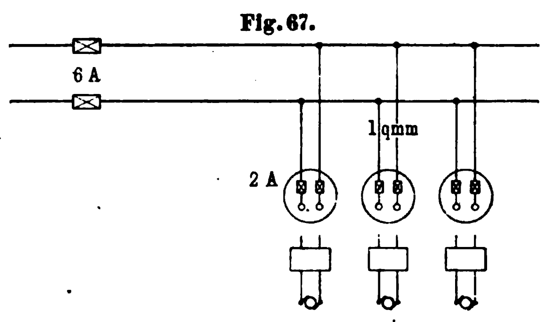
c) **Ersatzstromquellen.** Die Frage, welche Art von Motoren in einem gegebenen Falle zu verwenden sein wird, entscheidet sich in der Regel nach der Stromart, die das öffentliche Netz führt. Von Bedeutung ist aber dabei der Umstand, daß der unmittelbare Anschluß an das Netz den Hughesbetrieb von allen Netzstörungen abhängig macht und daher die Bereithaltung einer stets betriebsfertigen Ersatzstromquelle erfordert. Wo nur wenige Hughesapparate im Betriebe sind, kann eine kleine Sammlerbatterie für diesen Zweck mitbenutzt werden. Es ist nicht erforderlich, daß sie die volle Spannung des Netzes hat; sie kann vielmehr um 40 Proz. schwächer sein. Wenn eine Telegraphenbatterie vorhanden ist, die in langer Reihe aus einem Gleichstromnetz geladen wird, so wird es beim Versagen der Netzspannung nur nötig sein, die freie Batterie in die Ladestellung zu bringen und so an die Zuführungsleitungen zum Netz anzuschalten, mit denen die Hughesmotoren verbunden sind. Auch bei Ämtern mit einer größeren Anzahl von Hughesapparaten ließe sich die Telegraphenbatterie bei vorübergehenden, z. B. durch Durchbrennen von Hauptsicherungen verursachten Netzstörungen benutzen. Die Telegraphenzelle der Reichs-Telegraphenverwaltung kann 2,5 A 9 Stdn. lang liefern. Sie würde also 28 Stück 220-Volt-Motoren $9/(28 \times 0{,}09) = 3^1/_2$ Stdn. lang speisen können. Während bei kleinen Ämtern mit etwa 10 Hughesapparaten die Telegraphenbatterie für alle Fälle als genügende Reserve angesehen werden kann, zumal sich im Notfalle die Telegramme auch auf Morseleitungen werden absetzen lassen, bedürfen große Ämter für länger dauernde Netzstörungen einer besonderen Ersatzstromquelle. Als solche könnte die Fernsprechbatterie

in Frage kommen, da sich die Wechselstrommotoren mit 24 V betreiben lassen. Man müßte dann in Orten mit Wechselstromnetzen die Motoren auf die Batterie umschalten und in Orten mit Gleichstromnetzen Wechselstrommotoren benutzen, die dauernd aus der Fernsprechbatterie gespeist würden. Gegen dieses Verfahren spricht aber die erhebliche Verteuerung des Stromes und ferner der Umstand, daß die Fernsprechbatterie selbst für Netzstörungen einer Reserve bedarf, da es sich nicht empfiehlt, ihre Kapazität zu groß zu wählen. Es wird daher für große Ämter ein Verbrennungsmotor aufzustellen sein, der mit Hilfe einer Dynamo den Strom für die Hughesmotoren und andere Zwecke erzeugt.

d) **Stromzuführung.** Der Hughesmotor wird ohne Anlasser durch einen Dosenschalter an die Leitung angeschlossen. Bei dem großen Widerstande des Ankers beträgt der Anlaufstrom der Motoren für 110 V anfänglich höchstens 0,2 A.

Die Hughesapparate werden, damit sie leicht und ohne Gefahr entfernt werden können, durch Stecker mit Schnur an die Leitung angeschlossen. Entsprechend § 13, 2 der Verbandsvorschriften wird der Stecker mit der Schnur am Apparat und die zugehörige Anschlußdose an einem feststehenden Gegenstande angebracht. Die Dosen enthalten Sicherungen zu 2 A. Die Abzweigung der Zuführungsleitungen von 1 qmm Stärke (**Fig. 67**) kann, auch wenn die Zweigleitungen große Länge haben, ohne Sicherung an der Abzweigungsstelle erfolgen, sofern die Hauptsicherung höchstens 6 A Stromstärke hat (§ 14, 7 der Verbandsvorschriften). Haben die Zweigleitungen nur bis zu 1 m Länge, so kann die Hauptsicherung mehr als 6 A Stromstärke haben (§ 14, 6 der Verbandsvorschriften). Näheres über die Leitungs- und Sicherungsanlagen enthält der letzte Abschnitt.

Fig. 67.



II. Stromumwandlungsapparate.

1. Polwechsler.

a) **Wirkungsweise.** Kleine Ämter benutzen zum Anrufen der Teilnehmer statt der Rufmaschinen Batterien, deren Pole abwechselnd an die Leitungszweige gelegt werden. Die Polwechslereinrichtung besteht aus einem Elektromagneten mit Selbstunterbrechung, der nach Art des Gleichstromweckers seinen Anker in dauernde Schwingungen versetzt. Die pendelartige Ankerstange schwingt mit einer bestimmten Periodenzahl und vermittelt dabei den wechselnden Anschluß an die Batteriepole.

b) **Polwechsler der Reichs-Telegraphenverwaltung. Fig. 68** zeigt den gewöhnlichen Polwechsler der Reichs-Telegraphenverwaltung, **Fig. 69** seine Schaltung. Die abgebrochen gezeichnete Pendelstange vermittelt nicht selbst

den Kontakt, sondern bewegt mit Hilfe eines Isolierstückes die zwei Federn f_1 und f_2, die mit den beiden Leitungszweigen verbunden sind. Die von ihnen berührten Kontakte k_1, k_2, k_3, k_4 sind an die Rufbatterie angeschlossen, und zwar so, daß die einander kreuzweise gegenüberliegenden Kontaktschrauben mit denselben Batteriepolen Verbindung haben. Auf diese Weise wird jeder Leitungszweig bei der Linksstellung des Pendels mit dem einen und bei der Rechtsstellung mit dem anderen Pole abwechselnd verbunden. Als Rufbatterie kann eine für andere Zwecke dienende Sammler- oder Primärbatterie mitbenutzt werden. Ihre Spannung beträgt in der Regel etwa 40 V. Wenn eine geerdete Telegraphenbatterie mitbenutzt wird, zweigt man die Rufleitungen so ab, daß die Erdleitung in der Mitte liegt. Der Kondensator wird dann nicht geerdet. Der Zweck des Kondensators ist, die Stromwellen abzuflachen und die auftretenden Öffnungsfunken abzuschwächen. Ganz verhüten lassen sich aber die Funken nicht; sie nehmen mit der Anzahl der gleichzeitig erfolgenden Rufe an Stärke zu. Die Leistungsfähigkeit des Polwechslers ist daher beschränkt. Vor die Anrufbatterie werden, wenn sie aus Sammlern be-

Fig. 68.

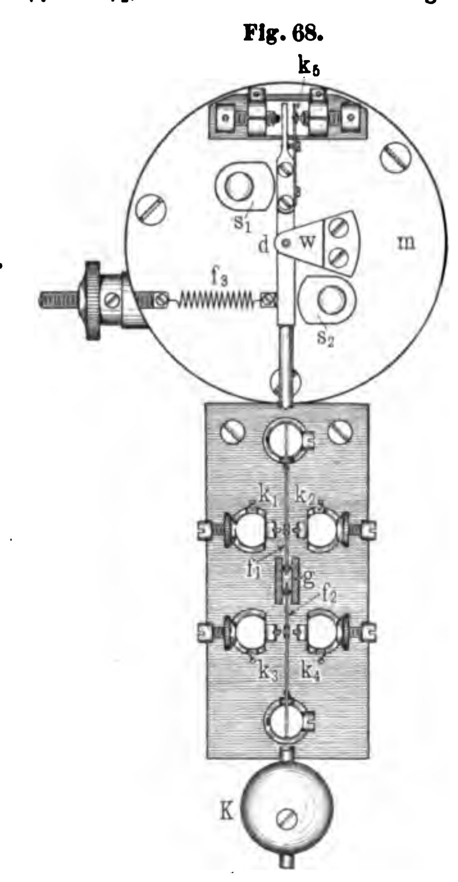


Fig. 69.

steht, Widerstände geschaltet, die ein Ansteigen des Stromes über 1 A verhüten sollen. Bei 40 V Spannung sind dazu 40 Ohm nötig.

Die auf der Pendelstange sitzende Kugel dient zur Einstellung der Schwingungszahl. Nachstehende Übersicht gibt die Periodenzahl für mehrere Stellungen der Kugel und verschiedene Antriebsbatterien an.

Stellung der Kugel	Periodenzahl beim Antrieb mit		
	2 Kupferelementen	4 Kupferelementen oder 1 Sammler	2 Sammlern
Unten	5	9	12
Mitte	—	11	13
Oben	—	13	16
Ohne Kugel	—	26	34

c) **Polwechsler der Reichs-Telegraphenverwaltung für Hauptstellen.** Für Hauptstellen-Klappenschränke Z. B. 08 werden Polwechsler nach **Fig. 70** und Schaltungszeichnung **Fig. 71** benutzt. Die Anordnung weicht insofern von der vorher beschriebenen ab, als der Antriebskreis nicht dauernd, sondern nur beim Drücken einer Ruftaste geschlossen ist. Da bei den Hauptstellen nur Batterien von wenigen Zellen vorhanden sind,

Fig. 70.

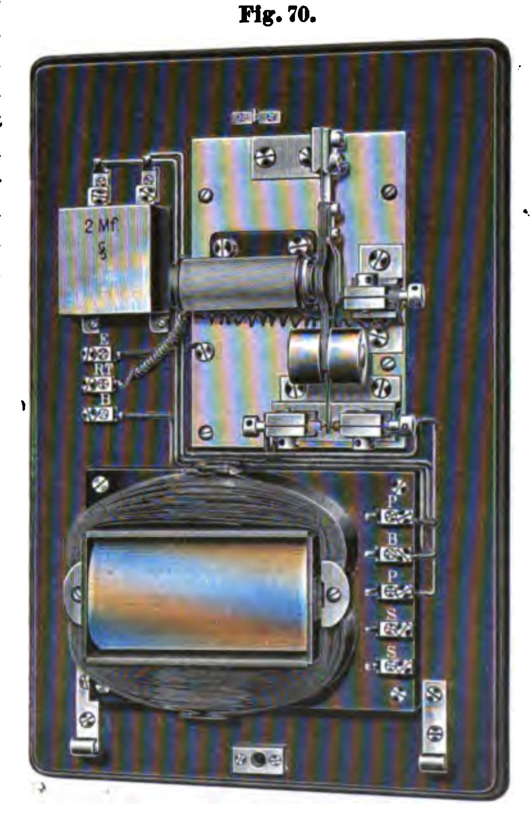


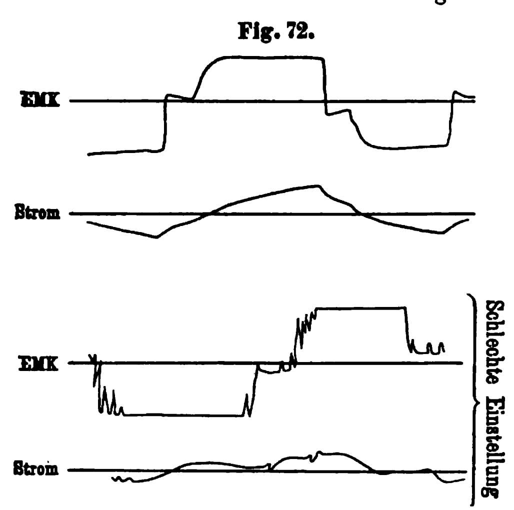
Fig. 71.

muß ihre Spannung zum Rufen durch Transformierung erhöht werden. Für diesen Zweck dient der Transformator *Tr*. Die Rufbatterie ist einerseits mit der Mitte der primären Wicklung und andererseits mit dem Pendel verbunden. Die Enden der primären Wicklung liegen an den beiden festen Kon-

takten k_1, k_2. Der Strom fließt daher beim Schwingen des Pendels abwechselnd durch die eine oder die andere Seite der primären Wicklung, und zwar jedesmal in der anderen Richtung. Dadurch werden in der sekundären Wicklung Wechselströme induziert.

d) **Kurven.** **Fig. 72** zeigt die vom Polwechsler gelieferte EMK und seinen Strom beim Anschluß von zwei Weckern. Die unteren beiden Kurven rühren von einem schlecht eingestellten Polwechsler her. Die Spannungskurve hat zwar ihre Grundform behalten, zeigt aber beim Wechseln der Richtung starke Schwankungen. Dementsprechend ist auch die Stromkurve ungleichmäßig. Ihre Zacken verschlechtern nicht allein den Weckeranschlag, sondern verursachen auch Geräusche in Nachbarleitungen. Die Gefahr der Geräuschübertragung ist auch bei gut eingestellten Polwechslern erheblich größer als bei Rufmaschinen, da ihre Kurve stark von der Sinusform abweicht.

Fig. 72.



Zur Prüfung eines Polwechslers kann man einen Wecker mit vorgeschaltetem Galvanoskop anschließen. Bei guter Einstellung muß die Nadel des Galvanoskops gleichmäßig nach beiden Seiten ausschlagen.

2. Gleichrichter.

a) **Relais-Gleichrichter** [1]). α) Allgemeines. Wie der Gleichstrom in einen solchen wechselnder Richtung umgewandelt wird, ebenso läßt sich umgekehrt der Wechselstrom gleichrichten. Für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb kann dies erwünscht sein, wenn ein Wechsel- oder Drehstromnetz ohne Einschaltung eines Motor-Generators zur Sammlerladung benutzt werden soll. Die Umwandlung geschieht durch Einrichtungen, die nur Strom von einer Richtung durchlassen, der anderen Stromrichtung dagegen den Weg versperren. Man benutzt für diesen Zweck relaisartige Unterbrecher, Quecksilberdampf-Gleichrichter und elektrolytische Zellen [2]) mit einer Aluminium- und einer Eisenelektrode, von denen die letztere als Anode den Stromweg versperrt. Während die elektrolytischen Zellen wegen ihrer starken Erwärmung keinen Eingang im Telegraphen- und Fernsprechdienste gefunden haben, werden die beiden anderen Arten zur Ladung von Sammlern vielfach benutzt.

β) Relais-Gleichrichter von Koch. Wirkungsweise. Die Reichs-Telegraphenverwaltung hat mehrfach das Relais von Koch verwendet, dessen

---

[1]) E. T. Z. 1901, S. 854; 1908, S. 41, 496. Archiv f. P. u. T. 1905, S. 254. Blätter f. P. u. T. 1907, S. 103. — [2]) Elektr. u. Maschinenbau 1906, S. 151. Zentralbl. f. Akkum. 1906, S. 213. E. T. Z. 1903, S. 432; 1908, S. 959.



Einrichtung sich aus **Fig. 73** ergibt. An die sekundäre Umwicklung des aus einem Wechselstromnetz gespeisten Transformators *T* ist der stark gezeichnete Ladekreis angeschlossen, sobald das Relais den Kontakt *K* schließt. Durch Verschiebung des Kontakts *S* kann die Spannung des Ladekreises geregelt werden. Die Hauptwindungen des Relais sind ebenfalls an den Transformator angeschlossen und werden von Wechselströmen durchflossen. Das Relais spricht aber nur auf Ströme einer Richtung an, weil es durch einen in der Figur nicht angegebenen Dauermagneten polarisiert ist.

Das Anschließen und Abtrennen des Ladekreises darf nicht beim Durchgang der Wechselspannung durch den Nullwert erfolgen, sondern in dem Augenblick, wo die Wechselspannung der Batteriespannung gleich ist. Geschieht es zu einem anderen Zeitpunkte, so tritt eine schädliche Funkenbildung an den Kontakten und unter Umständen eine Entladung der Batterie ein. Die rechtzeitige Betätigung des Kontakts *K* wird durch die zweite Relaiswicklung *PO* geregelt. Diese wird aus der Batterie gespeist und hält den Anker mit einer der jeweiligen Batteriespannung entsprechenden Kraft in der Ruhelage fest. Der Kontakt kann sich daher nur so lange schließen, als die Netzspannung überwiegt.

Fig. 73.

Fig. 74.

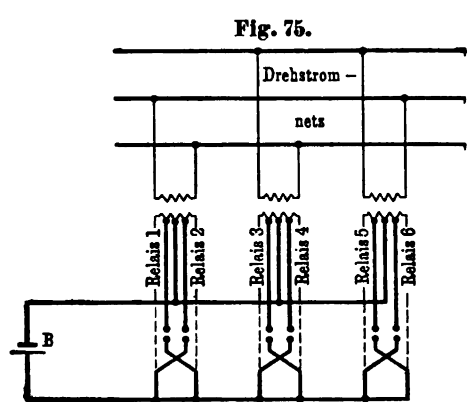
S t r o m v e r s c h i e b u n g. Das Verhältnis ist in **Fig. 74** ersichtlich gemacht. In dem angenommenen Falle überwiegt die Wechselstromspannung nur etwa während der Hälfte der halben Periode. Bei der Höhe der in Wechselstromnetzen üblichen Periodenzahl von 50 in der Sekunde neigt aber der Anker vermöge seiner Trägheit dazu, gleichmäßige Schwingungen auszuführen und während einer halben Periode Kontakt zu machen. Um diesem Bestreben des Ankers nachzukommen, hat man in den Ladekreis die Drosselspule *D* (Fig. 73) eingeschaltet, die den Strom gegenüber der Spannung verschiebt und verlängert. Die so entstehende Stromkurve ist in der Fig. 74 angegeben. Während sie ohne die Drosselspule auf die Strecke *AB* beschränkt wäre, nimmt sie jetzt die Länge *AC* an und erreicht damit annähernd die Dauer einer halben Periode.

Wird auf diese Weise herbeigeführt, daß der Anker gleichmäßig schwingt, so bedarf es doch noch eines besonderen Mittels, um das Zurückbleiben hinter der Spannung, das durch Selbstinduktion der Spulen, Hysteresis des Eisens, Trägheit und Reibung verursacht wird, aufzuheben. Zum Ausgleich ist in den Erregerkreis (Fig. 73) der Kondensator *C* eingeschaltet, der den Strom um einen gewissen Betrag vor der Spannung vorauseilen läßt. Außer dem Kondensator ist noch eine veränderliche Selbstinduktion *L* vorhanden, die

umgekehrt wirkt und als Mittel zur Einstellung der Voreilung dient. In Verbindung mit dem Kondensator schafft sie eine Resonanzwirkung und macht so die Benutzung eines kleinen Kondensators möglich.

Benutzung beider Richtungen des Wechselstromes. Die einseitig wirkenden Relais sind mehrfach zur Ladung kleiner Telegraphenbatterien benutzt worden. Für größere Leistungen von mehr als 1,5 KW werden zur Erhöhung des Wirkungsgrades und zur besseren Ausnutzung des Leiterquerschnitts beide Richtungen des Wechselstromes benutzt. Für die zweite Stromrichtung wird dazu ein zweites Relais dem ersten parallel geschaltet. Es entstehen so zwei Ladekreise, die das Leiterstück *SP* (Fig. 73) gemeinsam haben, aber getrennte Zuführungen je von einem Ende des Transformators über den Kontakt *K* nach dem negativen Batteriepol besitzen. Die beiden Relais schließen abwechselnd ihren Kontakt. Dementsprechend lösen sich in der sekundären Wicklung des Transformators Ladeströme wechselnder Richtung ab. Sie fließen aber immer vom Ende nach dem in der Mitte angeschlossenen positiven Batteriepol, so daß die Batterie ohne große Pausen einen Strom von der gleichen Richtung erhält.

Fig. 75.



Drehstrom. Auch für Drehstrom lassen sich die Gleichrichterelais benutzen. Ihre Schaltung ergibt sich aus Fig. 75. Es sind sechs Relais vorhanden. Eine Unterbrechung des Ladestromes tritt bei dieser Anordnung nicht ein, da immer eine Phase Strom liefert. Der Wirkungsgrad einer Anlage für eine 24-voltige Fernsprechbatterie und 150 A Ladestrom wird mit 60 bis 65 Proz. angesetzt; er dürfte aber im Betriebe niedriger sein. Zur Sicherstellung des Betriebes enthalten die Anlagen zwei Sätze von Apparaten.

Der Vorteil der Gleichrichteanlagen besteht in der geringen Raumbeanspruchung und der Kostenersparnis. Ob sich die Bedienung billiger stellt als bei Motor-Generatoren, ist zweifelhaft. Der Wirkungsgrad der Gleichrichteanlagen scheint ungünstiger zu sein.

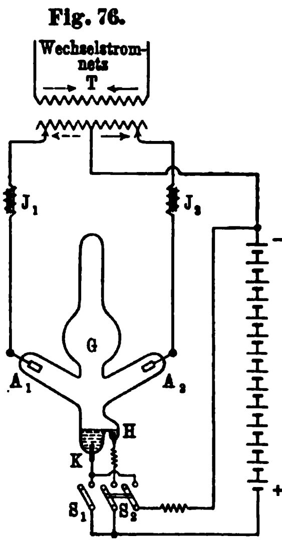
b) **Quecksilberdampf-Gleichrichter** [1]). Aus Amerika stammen Quecksilberdampf-Gleichrichter zur Ladung von Fernsprechbatterien, die ähnlich wie die Quecksilberdampflampen gebaut sind. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Umstande, daß eine Quecksilberelektrode, wenn sie in einem luftleeren Gefäße als Kathode erregt ist, von einem Strome wechselnder Richtung nur den Teil durchläßt, für den sie die Stromaustrittsstelle bildet. In Fig. 76 ist eine Einrichtung zur Ladung einer Sammlerbatterie aus einem Wechsel-

---

[1]) E. T. Z. 1905, S. 951; 1906, S. 123; 1907, S. 733; 1908, S. 178, 198. Elektr. u. Maschinenbau 1906, S. 150. Electr. Review London 58, 277. Electr. Review New York 48, 241. El. World 47, 79 u. 380. The Electrician 56, 677. El. Engineer 36, 624. Western El. 38, 143.

stromnetze dargestellt. Das luftleere Glasgefäß G hat zwei positive Elektroden (Anoden) A_1 und A_2 aus Metall oder Kohle, eine negative Quecksilberelektrode K und eine positive Hilfselektrode H aus Quecksilber. Die letztere dient zum Anlassen des Apparats, der wegen des Widerstandes der Kathode nicht von selbst angeht. Zu diesem Zweck wird der doppelpolige Schalter S_2 nach rechts gelegt und durch Kippen des Gefäßes eine Verbindung zwischen K und H hergestellt. Dabei fließt aus der Sammlerbatterie ein Strom von H nach K. Wird dann das Gefäß wieder in seine gewöhnliche Lage gebracht, so zerreißt der verbindende Quecksilberfaden zwischen den beiden Elektroden, und es bildet sich zwischen ihnen ein Lichtbogen. Wenn auf diese Weise die Kathode erregt ist, setzt nach dem Schließen des Schalters S_1 auch der Strom von den beiden positiven Elektroden A_1 und A_2 ein, worauf S_2 geöffnet wird. Es fließen dann die in der sekundären Wicklung des Transformators induzierten Wechselströme abwechselnd aus der einen oder der anderen Hälfte über A_1 oder A_2 nach K und durch die Batterie nach der Mitte des Transformators zurück. Die Kontakte an der sekundären Transformatorwicklung sind veränderlich, so daß beliebige Ladespannungen erzeugt werden können.

Fig. 76.



Die Stromfähigkeit des Apparats bleibt nur dann erhalten, wenn in der Tätigkeit der Kathode keine Unterbrechung eintritt. Dies wäre der Fall, wenn die beiden Stromwellen einander zeitlich genau mit einem dazwischen liegenden Nullwert ablösten. Um das Abfallen des Stromes auf Null zu verhindern, hat man in die beiden Stromwege die Drosselspulen J_1 und J_2 eingeschaltet, die den Strom verlängern.

In dem Quecksilber-Gleichrichter tritt ein Spannungsverlust von 15 bis 20 V ein. Er wird in der Regel für Stromstärken bis zu 30 A benutzt, ist aber auch schon mit 100 A betrieben worden.

Dritter Abschnitt.

Stromversorgungsanlagen.

A. Schalteinrichtungen.

I. Bestandteile.

1. Anwendung der Verbandsvorschriften.

Die vom Verbande Deutscher Elektrotechniker für die Errichtung und Bedienung elektrischer Starkstromanlagen aufgestellten Vorschriften nebst Ausführungsregeln [1]) zerfallen in solche für Hochspannungs- und solche für Niederspannungsanlagen. Niederspannungsanlagen sind Starkstromanlagen, bei denen die Gebrauchsspannung zwischen irgend einer Leitung und Erde 250 V nicht überschreiten kann; bei Sammlern ist die Entladespannung maßgebend. Die Telegraphen- und Fernsprechanlagen führen fast durchweg weniger als 250 V Spannung oder überschreiten diese Grenze nur in Ausnahmefällen um ein geringes. Sie können daher allgemein als Niederspannungsanlagen behandelt werden. Welche Teile der Einrichtungen als Starkstromanlagen anzusehen sind, kann in vielen Fällen zweifelhaft sein. Für die Entscheidung dieser Frage wird nicht allein die Betriebsstromstärke, sondern auch die bei Kurzschlüssen erreichbare höchste Stromstärke maßgebend sein. So sind Dynamo- und Sammlereinrichtungen zu den Starkstromanlagen zu zählen, Batterieanlagen mit Primärelementen dagegen in der Regel nicht. Wenn sie aber geringen inneren Widerstand haben und starke Kurzschlußströme von mehr als etwa 1 A erzeugen können, wie z. B. das Kupferoxyd- oder das Thermoelement, werden sie als Starkstromanlagen zu behandeln sein. Auch bei Trockenelementen wendet man vielfach im Telegraphenbetriebe besondere Vorsicht insofern an, als durch vorgeschaltete Widerstände das übermäßige Ansteigen der Stromstärke verhütet wird. Wenn die Stromquelle zu den Starkstromanlagen gerechnet wird, müssen ihre Verbindungen mit den Betriebsapparaten ebenfalls entsprechend eingerichtet werden. Die

[1]) Im folgenden sind die Vorschriften für die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen (Errichtungsvorschriften) mit E. V. und die Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen (Betriebsvorschriften) mit B. V. bezeichnet.. Wie im Text der Vorschriften sind auch hier für die Bestimmungen der Errichtungs- und Bedienungsvorschriften die Bezeichnungen „muß" und ähnliche verwendet, während für die Ausführungsregeln Ausdrücke wie „soll" oder „kann" gebraucht sind.



Apparate selbst lassen sich aber nicht nach den Verbandsvorschriften bauen und aufstellen. Da überdies ein übermäßiges Ansteigen der Stromstärke in den Apparaten durch deren Widerstand oder durch vorgeschaltete Sicherheitswiderstände verhindert wird, ist die Grenze für den Anwendungsbereich der Verbandsvorschriften vor den Apparaten zu ziehen. Für die Batterieanlagen mit niedrigen Spannungen von 2 bis 24 V wird man außerdem gewisse Abweichungen von den Verbandsvorschriften zulassen können.

2. Schalttafeln und Apparate im allgemeinen [1]).

a) Schalttafeln. An die Stromquellen werden die stromverbrauchenden Apparate nicht durch feste Verbindungen, sondern mit Hilfe besonderer Einrichtungen, die einen Wechsel der Stromquelle gestatten, angeschlossen. Für Primärbatterien ist in der Regel nur eine einzige Umschaltestelle im Betriebssaal vorhanden; ihre Anlage ist daher sehr einfach. Dagegen bedarf es in Dynamo- und Sammleranlagen auch in den Batterieräumen besonderer Umschalte- und Meßeinrichtungen, die auf Schalttafeln angeordnet werden. Eine Schalttafel muß aus feuersicherem Material bestehen und darf Holz [2]) nur als Umrahmung enthalten. Meist wird dazu Marmor oder Schiefer verwendet. Die Schieferplatten erhalten einen Überzug von eingebranntem Öl, der ihnen ein glänzendes schwarzes Aussehen gibt. Die Schalter und Apparate sitzen auf der Vorderseite der Schalttafel, während sich die Leitungsanschlüsse und Verbindungen auf der Rückseite befinden. Die hinter der Schalttafel liegenden spannungführenden und ungeschützten Teile sollen von der Wand mindestens 1 m, und wenn an der Wand ebensolche Teile sitzen, mindestens 2 m entfernt sein. Der Raum hinter der Schalttafel soll nicht zur Aufbewahrung von Gegenständen, die nicht zur Anlage gehören, wie Kleidungsstücke, Speisen usw., benutzt werden. Schaltanlagen, die nicht von der Rückseite zugänglich sind, müssen so eingerichtet sein, daß die Anschlüsse der Leitungen nachgesehen werden können. Sie sollen nach Befestigung der Tafel angeschlossen werden und von vorn lösbar sein. Die auf der Schalttafel angebrachten Sicherungen, Umschalter usw. sollen mit Bezeichnungen der Stromkreise versehen sein. Es empfiehlt sich, die Polarität der Leitungsschienen auf der Rückseite der Schalttafel durch Anstrich kenntlich zu machen.

b) Apparate. Die äußeren stromführenden Teile der einzeln angebrachten oder auf Schalttafeln vereinigten Apparate müssen auf feuersicheren Unterlagen, wie z. B. Marmor, Schiefer oder Metall, befestigt sein. Die Apparate sind derart zu bauen, daß sie durch den stärksten Betriebsstrom keine für den Betrieb oder die Umgebung gefährliche Temperatur annehmen können. Namentlich ist es wichtig, daß alle Kontakte eine genügend große und blanke Berührungsfläche haben, weil sich sonst Übergangswiderstände bilden, die eine Verminderung der Spannung und eine Erhitzung der Übergangsstelle verursachen. An Schaltern werden gewöhnlich die Kontakte dadurch selbsttätig gereinigt, daß die Berührungsflächen aneinander schleifen.

---

[1]) E. V., § 9 u. 10, B. V., § 1, 1. — [2]) Früher war für Schalttafeln bis zu 0,5 qm Größe Holz als Konstruktions-, aber nicht als Isolationsmaterial zugelassen. Die Durchtrittsstellen von Drähten wurden mit Porzellantüllen ausgekleidet

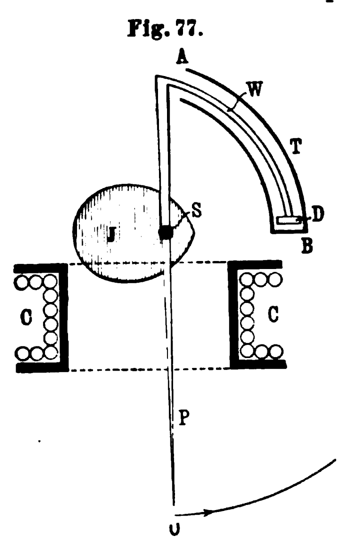


Während im allgemeinen die unter Spannung stehenden, nicht mit Isolierstoff bedeckten Teile im Handbereich gegen zufällige Berührung geschützt sein müssen[1]), bedürfen sie in Schalttafel- oder Maschinenräumen bei Niederspannung keines besonderen Schutzes[2]). Danach können für die im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe üblichen Spannungen und für Netzspannungen von 2 × 110 oder 2 × 220 V blanke Klemmen und unverdeckte Schalter an der Schalttafel benutzt werden.

3. Meßgeräte.

Die im praktischen Betriebe verwendeten Strom- und Spannungsmesser sind Zeigerinstrumente. An der Stellung des Zeigers wird die Wirkung eines durch das Instrument fließenden Stromes erkannt. Die Instrumente zeigen eigentlich nur die Stromstärke an. Da diese aber der an den Klemmen des Instruments herrschenden Spannung proportional ist, lassen sich die Instrumente auch als Spannungsmesser eichen. Die Bewegung des Zeigers entsteht durch die Wechselwirkung zwischen einer stromdurchflossenen Spule und einem Eisenstückchen, einem Dauermagneten oder einer zweiten Spule oder durch Erhitzung und Ausdehnung eines Drahtes beim Stromdurchgang.

Fig. 77.



a) Weicheiseninstrumente[3]). Meßinstrumente mit einer festen Spule und einem beweglichen Anker aus weichem Eisen, an dem der Zeiger befestigt ist, nennt man Weicheiseninstrumente. Ein Muster ist in **Fig. 77** dargestellt. Der durch die Spule *C* fließende Strom zieht das ovale Eisenblech *J*, das zur Spule exzentrisch liegt und um eine Achse *S* drehbar ist, in den Hohlraum der Spule hinein und dreht so den Zeiger *P*. Dieser trägt ein rund gebogenes Metallstück *W*, das ein Kölbchen *D* in dem einseitig geschlossenen Röhrchen *AB* bewegt. Dadurch entsteht eine Luftdämpfung, die den stark pendelnden Zeiger beruhigt. Nach dem Aufhören des Stromes wird das System mit dem Zeiger durch die Schwerkraft in die Ruhelage zurückgeführt. Das Instrument muß daher in einer bestimmten Lage aufgehängt werden und eignet sich deshalb nur zur festen Unterbringung an einer bestimmten Stelle. Die Abstände der Teilstriche sind bei den hohen Stromstärken weiter als bei den niedrigen, weil die Größe der Ablenkung nicht gleichmäßig mit der Stromstärke wächst. Wenn der Anker, obgleich er aus weichem Eisen hergestellt ist, Dauermagnetismus annimmt, oder wenn ihn fremde Magnete beeinflussen, wird die Einstellung des Zeigers ungenau. Die Weicheiseninstrumente, die aber nur noch selten verwendet werden, eignen sich sowohl für Gleich- als auch für Wechselstrom, da die Ablenkung nur von der Stromstärke und nicht von der Stromrichtung abhängig ist.

[1]) E. V., § 3a. — [2]) E. V., § 28a. — [3]) Zu vgl.: Dreisbach, Telegraphenmeßkunde, S. 12.

b) Meßinstrumente nach Deprez-d'Arsonval[1]. Für Gleichstrommessungen verwendet man meist Instrumente, die nach den Angaben von Deprez und d'Arsonval eine stromdurchflossene bewegliche Spule und einen festen Dauermagneten enthalten. Die Bauart ist in den **Fig. 78** und **79** veranschaulicht. Der drehbare Teil, der den Zeiger trägt, besteht aus einer Spule *ss*, die durch zwei zugleich zur Stromzuführung dienende Spiralfedern *f* in der Nullage gehalten wird. Die Spule befindet sich im Felde des kräftigen Dauermagneten *NS*. Sie schwingt um einen Eisenkern *E*, der die magnetischen Kraftlinien gleichmäßig auf den Luftraum verteilt. Da der Einfluß des Magneten *NS* auf die Spule sehr groß ist, wird sie durch fremde Magnetfelder beinahe gar nicht beeinflußt. Man soll aber trotzdem zwei Instrumente einander nicht näher aufhängen, als in einem Abstande von mindestens 50 cm. Wird die Spule vom Strom durchflossen, so erfährt sie, wie der Anker eines Elektromotors, eine Drehung durch die Zugkräfte *PP*. Da die Spannung der Federn *f* mit der Drehung gleichmäßig zunimmt, müssen die Drehungskräfte, die der Stromstärke entsprechen, dem Ausschlage proportional sein. Dadurch erhält die Skala eine gleichmäßige Einteilung. Die Spule wiegt nur wenig über 1 g und bedarf, da sie mit sorgfältig hergestellter Spitzenlagerung versehen ist, zu ihrer Bewegung nur sehr geringer Energiemengen. Wegen ihrer Bauart lassen sich die Instrumente in jeder beliebigen Lage verwenden, zeigen dann aber zuweilen geringe Abweichungen.

Fig. 78.

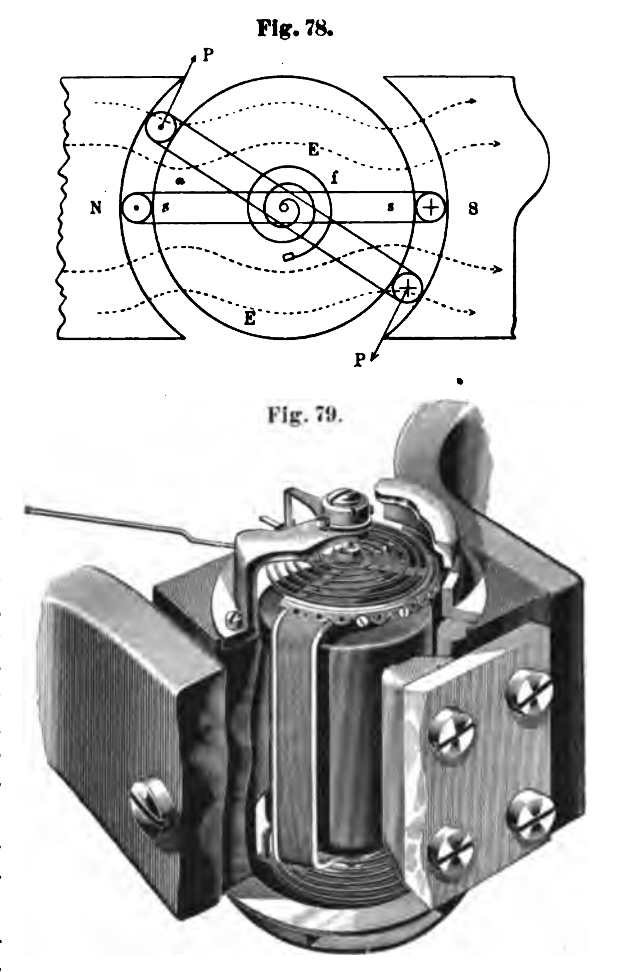


Fig. 79.

Bei der Drehung der Spule in dem starken Magnetfelde werden in dem Metallrahmen, auf den sie aufgewickelt ist, oder in einer zweiten kurz-

[1]) Zu vgl.: Dreisbach, Telegraphenmeßkunde, S. 13.

geschlossenen Spule Ströme induziert, die unter dem Einfluß des Magneten bremsend wirken. Der Zeiger stellt sich infolgedessen sehr schnell ohne Pendelbewegungen ein; man nennt die Instrumente „aperiodisch". Für Wechselstrom lassen sich Instrumente nach Deprez-d'Arsonval nicht benutzen, weil sich bei der Umkehrung der Stromrichtung der Ausschlag ebenfalls umkehrt.

Fig. 80.

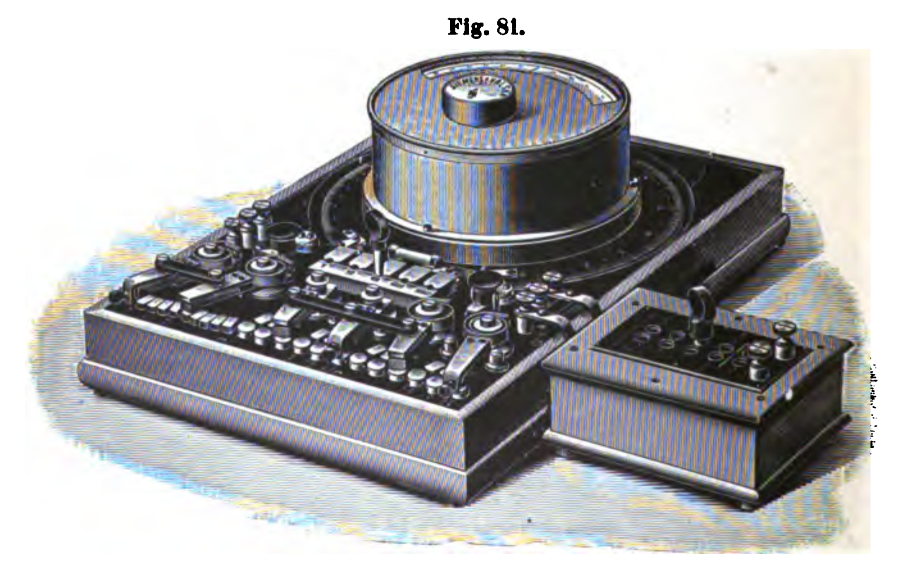


Der Batterieprüfer (**Fig. 80**) und das Universalmeßinstrument (**Fig. 81**) sind Drehspuleninstrumente der beschriebenen Art[1]). Daneben wird bei den Fernsprechämtern häufig ein Instrument der Firma Siemens u. Halske mit drei Meßbereichen für Strommessungen und mit drei Meßbereichen für Spannungsmessungen benutzt (**Fig. 82**). Seine Schaltung zeigt **Fig. 83**.

Fig. 82.



Fig. 81.



[1]) Zu vgl.: Dreisbach, Telegraphenmeßkunde, S. 64 u. 77.

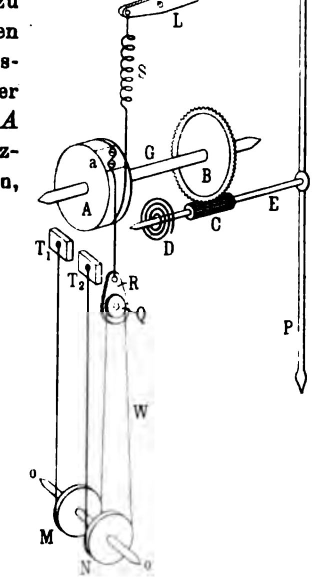
c) **Elektrodynamometer.** Die Elektrodynamometer[1]) enthalten eine bewegliche Spule, die von einer zweiten stromdurchflossenen Spule beeinflußt wird. Die Einwirkung erfolgt bei jeder Stromrichtung in demselben Sinne, weil sich der Strom zugleich in beiden Spulen umkehrt. Die Instrumente lassen sich deshalb auch für Wechselstrommessungen benutzen.

d) **Hitzdrahtinstrumente.** Ein vom Strom durchflossener Draht erfährt eine Erwärmung und Ausdehnung, deren Größe von der Stromstärke abhängig ist. Auf dieser Erscheinung beruht die Bauart der Cardewschen Hitzdrahtinstrumente[2]). Sie werden vorzugsweise für Wechselstrommessungen benutzt, weil sie unabhängig sind von der Selbstinduktion, der Periodenzahl und der Kurvenform. Die Ausdehnung des erwärmten Drahtes wird auf einen Zeiger übertragen. Ein Muster der dazu erforderlichen Einrichtung zeigt **Fig. 84.** Der zu erhitzende Platinsilberdraht W ist zwischen den Klemmen T_1 und T_2 über drei Rollen $M\,Q\,N$ ausgespannt. Die Rolle Q hängt an einem Drahte, der von der Feder S getragen wird und um die Rolle A geschlungen ist. Bei einer Verlängerung des Hitzdrahtes folgt die Rolle Q dem Zuge nach oben, durch den die Rolle A gedreht wird. Die Bewegung der Rolle A wird durch B und C auf den Zeiger P übertragen. Zur Einstellung in die Nullage dient die Schraube K mit dem geriefelten Kopfe h.

Fig. 83.

10 Ω
39600 Ω
2,735 Ω
0,2385 Ω
440 Ω
3960 Ω
0,0265 Ω

Fig. 84.



e) **Ausführung von Messungen.** Die beschriebenen Meßinstrumente haben eine „empirische" Skala, deren Einteilung durch Feststellung der Ausschläge für bestimmte Strom- und Spannungswerte ermittelt ist. Die Gesetze, nach denen die Ablenkung erfolgt, sind meist nicht einfach und können bei der Benutzung der Instrumente unberücksichtigt bleiben.

Wechselstrommessungen. Will man ein für Gleichstrom geeichtes Instrument zu Wechselstrommessungen benutzen, so muß man berücksichtigen, daß die „effektive" Stärke oder Spannung des Wechselstroms einen Durchschnittswert darstellt, der zwischen dem Null- und dem Höchstwerte liegt.

[1]) Zu vgl.: Dreisbach, Telegraphenmeßkunde, S. 15 u. 27. — [2]) Ebenda, S. 16 u. 28.

Er beträgt bei sinusförmigen Kurven 71 Proz. ($= 1 : \sqrt{2}$) des höchsten $+$- oder $-$-Wertes und gibt die Quadratwurzel aus dem Mittelwerte der Quadrate an. Diesen Wert zeigt sowohl das Hitzdrahtinstrument an, dessen Ausschläge der Erwärmung des Drahtes nach der Formel $i^2 . w$ entsprechen, als auch das Elektrodynamometer, in dem das Quadrat der Stromstärke infolge der Wechselwirkung des in beiden Spulen umlaufenden Stromes zur Geltung kommt. Dagegen gibt das Weicheiseninstrument, das nur eine Spule hat, das Mittel der einfachen Sinuswerte an, das bei reinen Sinuskurven 64 Proz. ($= 2/\pi$) des Höchstwertes beträgt. Man muß deshalb, wenn man ein für Gleichstrom geeichtes Weicheiseninstrument für Wechselstrommessungen verwendet, die abgelesenen Werte je nach der Kurvenform mit 1,1 bis 1,2 vervielfachen.

Fig. 85. Fig. 86.

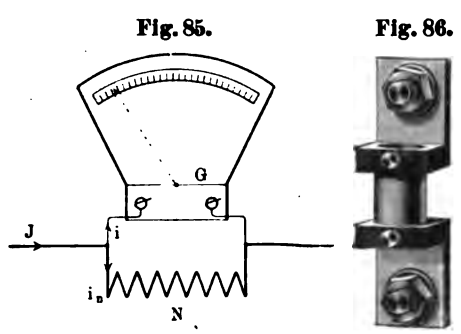




Fig. 87.



Strommessung mit Abzweigwiderstand. Um die Stromstärke unmittelbar zu messen, muß man den Strommesser in die Leitung einschalten, die der Strom durchfließt. In der Regel werden diese Strommessungen nach der Abzweigmethode ausgeführt. In die Leitung ist dabei nicht das Instrument selbst, sondern ein Zweigwiderstand, Nebenschluß oder Shunt (N in **Fig. 85**) eingeschaltet, durch den der Hauptteil i_n des Stromes J fließt, während nur ein kleiner Zweigstrom i das Meßinstrument erregt. Der Zweigwiderstand beträgt $^1/_9$, $^1/_{99}$, $^1/_{999}$ oder $^1/_{9999}$ des Instrumentwiderstandes; er wird meist so niedrig gewählt, daß nur ein geringer Spannungsverlust von höchstens 0,15 V verursacht wird. Dieser Spannungsunterschied ist es, der den Meßstrom in dem Instrumente entstehen läßt. Man benutzt daher für die Abzweigmethode empfindliche Spannungsmesser. Die meisten Strommesser Deprez-d'Arsonvalscher Art sind Spannungsmesser mit einem in das Instrument eingebauten Zweigwiderstand (vgl. Fig. 83, linker Teil). Für Schalttafelinstrumente wird der Nebenschluß häufig hinter der Schalttafel fest in den Stromkreis eingeschaltet. Nebenschlüsse für hohe Stromstärken zeigen die **Fig. 86** und **87.** Die Zuleitungen vom Zweigwiderstande zum Instrument, die bei der Eichung zu berücksichtigen sind, werden mit dem Instrumente geliefert.

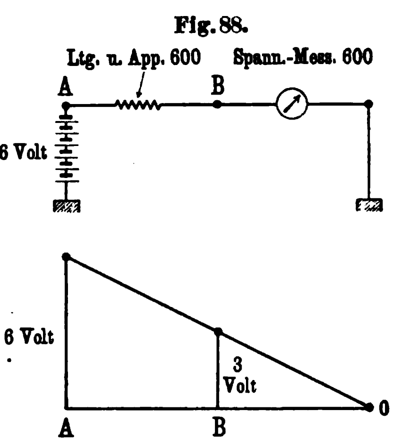
Diese Art des Einbaues ermöglicht es, ein Meßinstrument für verschiedene Stromkreise zu benutzen. In jeden wird dann ein Zweigwiderstand mit

besonderen Zuleitungen eingeschaltet. Die Zuleitungen endigen an Kontakten, die durch einen Umschalter (Sparschalter) mit dem Instrumente verbunden werden können. Es ist nicht erforderlich, daß alle zu demselben Strommesser gehörigen Kreise annähernd dieselben Stromstärken haben und gleichartige Zweigwiderstände erhalten. Sind z. B. Stromkreise mit 2 A Stromstärke neben anderen mit 300 A vorhanden, so verwendet man für erstere Nebenschlüsse vom hundertfachen Widerstande und teilt den abgelesenen großen Ausschlag durch 100. Sehr oft wird in solchen Fällen das Instrument mit einer zweiten Skala für den niedrigen Meßbereich versehen.

Für gelegentliche Strommessungen im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe empfiehlt sich die Abzweigmethode ebenfalls, weil sie das Trennen der Leitung erspart. Wie früher beschrieben ist, wird sie auch zum Messen der Stromstärke von Primärelementen benutzt. Um festzustellen, welcher Strom durch einen Apparat von bekanntem Widerstande fließt, mißt man mit einem Spannungsmesser seine Klemmenspannung und teilt sie durch den Widerstand.

Spannungsmessungen. Der Spannungsmesser wird zwischen die beiden Punkte geschaltet, deren Potentialunterschied zu bestimmen ist. Ebenso wie den Strommesser verwendet man auch den Spannungsmesser einer Schalttafel für verschiedene Zwecke, z. B. für mehrere Batterien oder Maschinen. Es ist nur erforderlich, von den beiden Batterie- oder Maschinenpolen Zuleitungen zu einem Sparschalter zu führen, der ihre Verbindung mit dem Instrumente herstellt. Für verschiedene Meßbereiche läßt sich ein Spannungsmesser durch Vorschaltung passender Widerstände einrichten. Sollen z. B. an einem Spannungsmesser für 10 V zugleich Werte von 100 V abgelesen werden, so wird in eine der beiden zugehörigen Zuleitungen ein Widerstand vom Neunfachen des Instrumentwiderstandes eingeschaltet (vgl. Fig. 83, rechter Teil). Der Meßstrom wird dadurch auf den zehnten Teil seines Wertes ermäßigt, und der Zeiger gibt nur $^1/_{10}$ des wirklichen Betrages an. Oft erhalten die Spannungsmesser eine besondere Einteilung für den zweiten Meßbereich.

Fig. 88.



Der Spannungsmesser muß einen erheblich größeren Widerstand haben als der Teil des Stromkreises, zu dem er parallel geschaltet wird, weil sich sonst durch den Stromverbrauch des Instruments die Verhältnisse ändern. Batterien und Betriebszuleitungen haben in der Regel einen so geringen Widerstand, daß die in der Starkstromtechnik gebräuchlichen Spannungsmesser unbedenklich angeschlossen werden können. Dagegen muß bei Messungen an den Apparaten und Leitungen, deren Widerstand oft beträchtlich ist, der Widerstand des Spannungsmessers berücksichtigt werden.

Es möge z. B. vom Orte *B* aus die Spannung einer in *A* an der Leitung liegenden ruhenden Batterie zu messen sein (**Fig. 88**). Es betrage der Widerstand der Leitung und der eingeschalteten Apparate zusammen 600 Ohm

und die Batteriespannung 6 V. Nimmt man nun einen Spannungsmesser von 600 Ohm Widerstand (Batterieprüfer von Hartmann u. Braun), so zeigt er nur 3 V. Wie im unteren Teile der Abbildung dargestellt, verteilt sich der Spannungsabfall gleichmäßig auf die Leitung von 600 Ohm und auf das Instrument von 600 Ohm. Dieses mißt daher nur die Hälfte der wirklich vorhandenen Spannung. Ist der Widerstand des Spannungsmessers fünfmal so groß wie derjenige der Leitung, d. h. = 3000 Ohm, so zeigt er $^5/_6$ der Spannung = 5 V. Für schnelle Messungen im Betriebe würde die Ungenauigkeit noch zu groß sein. Um sie auf 10 Proz. zu ermäßigen, müßte ein Instrument von mehr als 5000 Ohm verwendet werden. Für derartige Messungen müssen daher besondere Instrumente mit hohem Widerstande hergestellt werden.

4. Elektrizitätszähler.

Während zur Messung des Stromverbrauchs bei geringer Stromstärke zweckmäßig Voltameter verwendet werden, benutzt man in der Starkstromtechnik meist Pendel- oder Motorzähler.

a) Pendelzähler. Die nach den Angaben von Aron gebauten Pendelzähler eignen sich für Gleich- und Wechselstrom. Bei der älteren Form des Aronzählers arbeiten zwei gleiche Uhrwerke mit langen Pendeln auf ein sogenanntes Planetenrad in der Weise, daß die Kreuzwelle dieses Rades sich mit einer dem Gangunterschiede der beiden Uhren entsprechenden Geschwindigkeit dreht und ihre Drehung auf ein Zählwerk überträgt. Die Ablesung erfolgt an verschiedenen kleinen Zifferblättern getrennt nach Zehnteln, Einern, Zehnern usw. Die Anordnung des Zählers ergibt sich aus **Fig. 89.** Eins der Pendel trägt unten einen Dauermagneten, der über einer vom Hauptstrom oder einem Zweigstrom durchflossenen Spule aus wenigen Windungen von starkem Drahte schwingt. Durch die Anziehung, die zwischen der Spule und dem Magneten stattfindet, wird die Schwingungsdauer des Pendels verkürzt und der Gang des zugehörigen Uhrwerks beschleunigt. Die Beschleunigung des Ganges ist der Stromstärke proportional. Der Zähler gibt daher den Stromverbrauch in A S an.

Fig. 89.



Trägt das Pendel statt des Dauermagneten eine dünndrähtige Spule mit horizontal liegenden Windungen, die an die Betriebsspannung angeschlossen sind, so ist die Einwirkung der festen Stromspule auf die Spannungsspule des Pendels proportional dem Werte $i.e.$ Der Zähler mißt dann den Energieverbrauch in W S.

Die Uhrwerke älterer Art müssen aufgezogen und angestoßen werden. Eine neuere Form des Zählers wird automatisch auf elektrischem Wege aufgezogen. Ihre Pendel sind ferner so kurz, daß sie von selbst in Schwingung kommen. Schließlich sind noch zur Erzielung einer genaueren Zählung beide Pendel mit Spannungsspulen ausgerüstet. Die Anordnung ist dabei so getroffen, daß zwischen dem einen Pendel und seiner Stromspule eine Anziehung und bei dem anderen Paar eine Abstoßung stattfindet.

b) Motorzähler. Gleichstrom. Der Motorzähler für Gleichstrom ist nach Art eines Gleichstrom-Elektromotors gebaut, jedoch ohne Eisen. Die Geschwindigkeit des Motors ist dem Produkt aus Stromstärke und Spannung proportional. Um die große Umdrehungsgeschwindigkeit des Ankers zu verringern, rüstet man ihn mit einer Kupferscheibe aus, die sich zwischen den Polen eines Magneten dreht. In der Scheibe entstehen bei der Bewegung Wirbelströme, die so gerichtet sind, daß sie von dem Magneten angezogen werden und daher hemmend auf die Drehung einwirken. Zur Überwindung der in den Lagern, Bürsten usw. vorhandenen Reibung dienen einige in den Spannungskreis eingeschaltete Windungen, die den Hauptstrom unterstützen.

Wechselstrom. Für Wechselstrom verwendet man neben den Pendelzählern Ferraris- oder Induktionszähler, die nach Art der Induktionsmotoren arbeiten. Ihre Einrichtung beruht auf der Einwirkung von zwei aufeinander senkrecht stehenden Wechselfeldern auf einen Metallzylinder. Das eine Feld wird durch eine in die Hauptleitung eingeschaltete Spule erzeugt und das andere durch eine Spannungsspule, deren Phase künstlich um 90° gegen die Spannung verschoben ist.

5. Schalter [1]).

a) Verbandsvorschriften. Alle Schalter, die zur Stromunterbrechung dienen, müssen so gebaut sein, daß beim ordnungsmäßigen Öffnen kein Lichtbogen bestehen bleibt. Zu diesem Zwecke sollen sie, mit Ausnahme der Schalter in besonderen Räumen, wie z. B. Ladestellen, Momentschalter sein, d. h. beim Ausschalten zurückschnellen und so den Stromkreis plötzlich unterbrechen. Die Lichtbogenbildung ist von der Höhe der Spannung und Stromstärke abhängig. Nach der Stromstärke müssen auch die stromführenden Teile bemessen werden. Damit jederzeit geprüft werden kann, ob ein Schalter sich für einen bestimmten Zweck eignet, muß er eine Angabe über die normale Betriebsstromstärke und Spannung tragen. Die der Berührung zugänglichen Gehäuse und Griffe müssen aus nichtleitendem Stoff bestehen oder mit einer haltbaren Isolierschicht ausgekleidet oder überzogen sein. Ausschalter für Stromverbraucher müssen, wenn sie geöffnet sind, alle unter Spannung stehenden Pole ihres Stromkreises abschalten. Da jedoch für kleine Gruppen von nicht mehr als 15 Glühlampen ausnahmsweise einpolige Abschaltung gestattet ist, wird man sie auch im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe für Stromkreise mit einer Stromstärke von einigen A zulassen können. Die Kontaktflächen der Schalter sind so angeordnet, daß sie aufeinander schleifen und sich dadurch selbsttätig blank erhalten.

b) Dosenschalter. Die Dosenschalter (**Fig. 90**) für Stromstärken von 4, 6, 10, 20, 35 und 60 A, die meist als Glühlampenschalter benutzt werden, enthalten in der Regel einen Drehkörper aus Porzellan, der durch schleifende Federn den Kontakt vermittelt. Die schnelle Unterbrechung des Stromkreises (Momentschaltung) wird in der Weise bewirkt, daß entweder die Federn sich beim Drehen bis zu einer hochstehenden Kante verschieben und dann schnell abgleiten, oder daß der Knebel des Schalters mit dem Drehkörper durch eine

[1]) E. V., § 11, § 28, 1. Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial, B, C. E. T. Z. 1908, S. 872.

Feder verbunden ist, die nach Überschreitung eines gewissen Widerstandes eine plötzliche Weiterbewegung bewirkt. Die Dosenschalter sind mit Kappen aus Isoliermasse überdeckt. Sie werden für verschiedene Schaltungsweisen nach den Bedürfnissen der Beleuchtungstechnik gebaut. Für Batterieanlagen lassen sie sich nur in Ausnahmefällen verwenden, weil sie nicht genügend übersichtlich und zuverlässig sind.

Fig. 90.

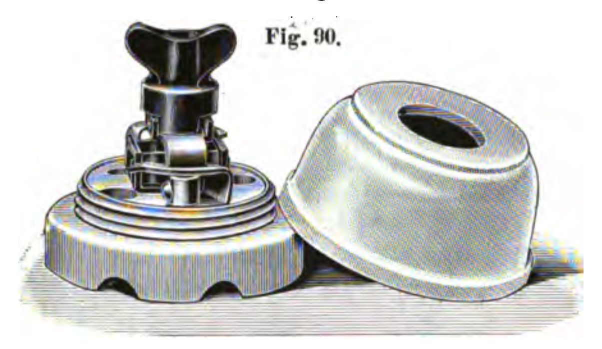
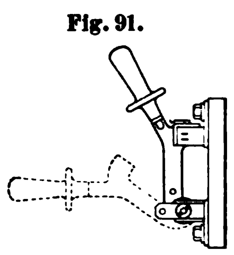


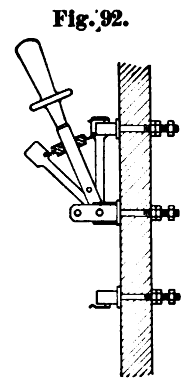
Fig. 91.



Hebelausschalter mit Grundplatte und vorderseitigen Anschlüssen.

c) **Hebelschalter.** Bei den Hebelschaltern dienen zur Kontaktvermittelung Hebel aus Kupfer oder Messing, die mit dem einen Ende zwischen federnden Kupfer- oder Messingstücken drehbar gelagert sind und mit dem anderen sich schneidenartig zwischen Metallfedern schieben. Zur Handhabung sind Holz- oder Hartgummigriffe aufgeschraubt. Ein Muster eines Ausschalters ohne Funkenlöschung stellt **Fig. 91** dar. Der Schalter sitzt auf einer Grundplatte aus Marmor oder Schiefer und läßt sich daher auch einzeln anbringen, z. B. an der Wand. Die Zuleitungen werden auf der Vorderseite angeklemmt.

Fig. 92.



Moment - Hebelumschalter auf Schalttafel mit rückseit. Anschlüssen.

Bei Momentschaltern stellt nicht der eigentliche Hebel, sondern ein durch eine Feder damit verbundenes Kontaktstück die Verbindung her (**Fig. 92**). Diese Figur veranschaulicht einen Schalter ohne Grundplatte. Er wird auf einer Schalttafel mit Bolzen festgeschraubt, die zugleich zum Anschließen der Zuleitungen auf der Rückseite der Schalttafel dienen. Beim Ausschalten bewegt sich anfänglich der Hebel allein, während das Kontaktstück stecken bleibt und die zwischen beiden sitzende Feder angespannt wird. Bei einer bestimmten Stellung des Hebels wird das Kontaktstück durch einen Ansatz gelöst und durch die Feder zurückgeschnellt. Auf diese Weise wird der Öffnungsfunken, der die Kontakte verbrennt, schnell abgerissen. Die Kontaktteile der Hebelschalter müssen so bemessen sein, daß sie beim Stromdurchgang um höchstens 50° C über die Temperatur der Umgebung erwärmt werden.

Soll der Hebelschalter zum Wechseln zwischen zwei Stromkreisen benutzt werden, so bringt man, wie bei dem Muster der Fig. 92, auf beiden Seiten des Drehpunktes Kontakte an. Meist sind diese Hebelumschalter so eingerichtet, daß der Hebel in der Mittelstellung keinen von beiden Kontakten berührt (Umschalter mit Unterbrechung). Für bestimmte Zwecke

werden aber auch Umschalter hergestellt, die den zweiten Kontakt berühren, bevor sie den ersten verlassen. Für die Schalteinrichtungen des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes eignen sich diese aber nicht. Die Hebelschalter lassen sich auch zwei- oder mehrpolig herstellen.. Muster davon werden später in Abbildungen zu sehen sein. Die Stromstärke beträgt für kleine Schalter 10, 20, 35 und 60 A und für größere in der Regel 100, 200, 300, 400 und mehr A.

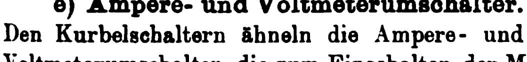
Für die Batterieanlagen des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes werden vielfach, namentlich bei größerer Stromstärke, Hebelschalter verwendet. Sie haben den Vorzug der Übersichtlichkeit und Einfachheit in der Handhabung, gestatten aber nicht den Wechsel zwischen mehr als zwei Stromkreisen.

d) Kurbelschalter. Eine größere Umschaltmöglichkeit läßt sich mit Kurbelschaltern erzielen. Ihre Kurbeln tragen Kontaktfedern, mit denen sie parallel zur Schalttafelfläche über die kreisbogenförmig angeordneten Kontakte schleifen. Um einen glatten Übergang der Federn von einem Kontaktstück auf das andere zu erzielen und die gleichzeitige Berührung zweier Kontakte zu verhüten, setzt man Stücke aus hartem Isolierstoff dazwischen. Die Kurbelumschalter lassen sich durch eine starre, isolierte Verbindung zwischen mehreren Kurbeln leicht zu mehrpoligen Schaltern zusammensetzen. Sie sind meist für Stromstärken bis zu 10 A eingerichtet, haben aber keine Momentschaltung und können daher nur für Stromkreise mit geringer Energie verwendet werden, wie z. B. für Lade- und Entladekreise von Telegraphensammlern.

Fig. 93.



e) Ampere- und Voltmeterumschalter.

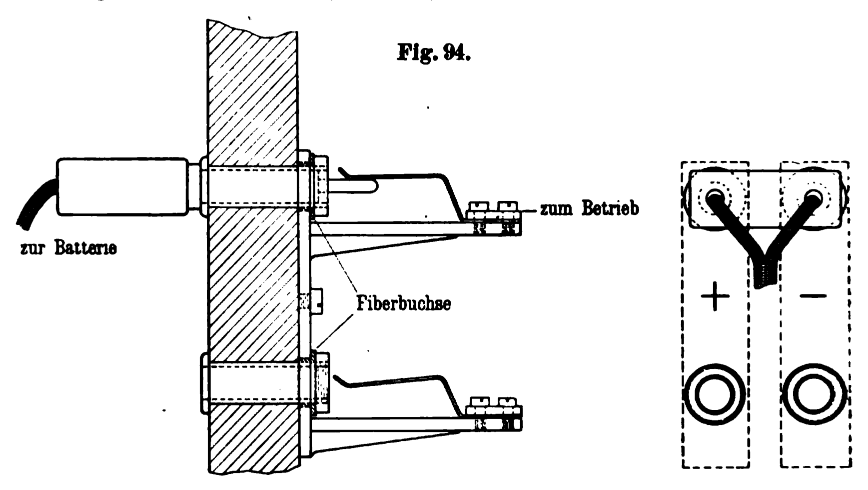


Den Kurbelschaltern ähneln die Ampere- und Voltmeterumschalter, die zum Einschalten der Meßinstrumente in verschiedene Stromkreise dienen. Sie tragen an einem Handgriff aus Isolierstoff zwei einander gegenüberstehende Kontaktarme, die durch ihre Federn zwei Schleifringe mit den davorliegenden Kontakten verbinden (**Fig. 93**). An den Schleifringen liegt das Meßinstrument; je zwei gegenüberliegende Kontakte sind mit einem Stromkreise verbunden. Die Ampere- und Voltmeterumschalter sind gewöhnlich für niedrige Stromstärken eingerichtet und daher für andere Zwecke nicht recht geeignet.

f) Stöpselschalter. Die im Telegraphenbetriebe vielfach verwendeten Stöpselschalter (**Fig. 94**) entsprechen in ihrer Wirkungsweise den gebräuchlichen Steckschaltern für bewegliche Glühlampen. An ihre Zuverlässigkeit müssen aber größere Anforderungen gestellt werden. Die ungeschlitzten Kontaktstifte schieben sich unter Federn, die hinter der Schalttafel sitzen. Ihre Führung erhalten sie durch ein in die Schalttafel eingesetztes Metallfutter. Zur Verhütung von Polverwechslungen haben die beiden Stifte und Futter verschiedenen Durchmesser. Da die Stöpselschalter für Stromstärken von weniger als 20 A verwendet werden, können ihre Griffe und isolierenden

Teile aus Hartgummi bestehen [1]). Als Momentschalter sind die Stöpselschalter ebensowenig wie die Kurbel- und Voltmeterumschalter anzusehen. Sie haben aber den großen Vorzug, daß sie die weitgehendste Möglichkeit der Umschaltung durch Vertauschung der Stöpsel gewähren.

Fig. 94.

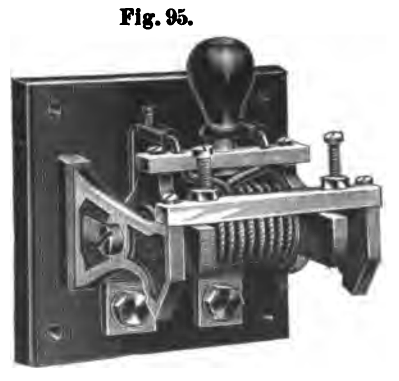


g) **Walzenumschalter.** Häufig werden im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe drehbare Walzen aus Isolierstoff mit eingelegten Kontaktstücken, die unter fest angebrachten Schleiffedern hinweggleiten, benutzt. Die Kontaktstücke sind so angeordnet, daß bei verschiedenen Stellungen der Walze bestimmte Verbindungen hergestellt werden.

6. Selbsttätige Ausschalter.

Die Ladekreise enthalten meist selbsttätige Ausschalter, die bei zufälligem Sinken der Ladespannung unter diejenige der Batterie den Stromkreis unterbrechen und so die Entladung der Sammler nach der Maschine hin verhüten. Ihre Wirkungsweise beruht auf der Anziehung eines beweglichen Ankers durch einen vom Strom erregten Elektromagneten.

Fig. 95.



Bei dem Muster der **Fig. 95** wird der Ladestrom um einen drehbar gelagerten Eisenkern in wenigen Windungen starken Drahtes herumgeführt. Die blanken Enden des Drahtes tauchen in Quecksilbernäpfe, die als Stromzuleitung dienen. Durch den vom Strom erzeugten Magnetismus haften die Polschuhe der Spule an dem darüberliegenden Joch. Wenn aber der Strom unter eine gewisse Grenze sinkt, fällt der Elektromagnet durch sein Gewicht so nach unten, daß die Enden der Spule aus den Quecksilbernäpfen heraustreten und den Strom ganz unterbrechen.

[1]) E. V., § 13, 1.

Der Ausschalter hat den Übelstand, daß durch den Öffnungsfunken Quecksilber verbrannt und verspritzt wird. Er läßt sich daher für hohe Stromstärken und Spannungen nicht verwenden; er findet sich nur noch in älteren Anlagen.

Die neueren selbsttätigen Ausschalter sind in der Regel nach Art der Hebelschalter gebaut und bestehen wie diese aus einem Kontaktteil und einem Hebelarm. Ein Muster von einfacher und übersichtlicher Anordnung zeigt **Fig. 96.** Der Hebelarm drückt das Kontaktstück mit seinem oberen Ende zwischen die Kontaktfedern und schaltet die Stromspule in den Stromkreis ein. Die Spule wird dadurch erregt und hält das obere Ende des als eisernes Joch gebauten Hebels fest. Beim Nachlassen des Stromes fällt zuerst der Hebel allein ab. Wenn er einen bestimmten Weg zurückgelegt und eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hat, schlägt er unten mit einem Ansatz gegen das Kontaktstück und löst es aus den Kontaktfedern.

Einen Ausschalter von derselben Wirkungsweise, aber für größere Stromstärken stellt **Fig. 97** dar. Der Elektromagnet sitzt auf dem festen Teile des

Fig. 96.



Fig. 97.



Schalters, während der Hebelarm den Anker trägt. Der Kontakt wird nur durch zwei aufeinander gedrückte glatte Flächen hergestellt. Diese müssen zur Verhütung von Erhitzungen und Spannungsverlusten immer sorgfältig blank und glatt erhalten werden. Um sie vor Beschädigungen durch Öffnungsfunken zu schützen, hat man oben am Schalter einen zweiten Nebenkontakt mit auswechselbaren Kohlenstücken angebracht, der sich vor dem Hauptkontakt schließt und nach ihm öffnet und so den Lichtbogen aufnimmt. Der Hebel des Ausschalters legt sich nach dem Abfallen zwischen zwei Federn und schließt dadurch einen Weckerstromkreis, der zur schnellen Benachrichtigung des Wärters dient. Während der Ruhe läßt sich der Weckerkreis durch einen kleinen Dosenschalter öffnen.

7. Regulierwiderstände [1]).

Die Regulierwiderstände sollen die Einstellung einer bestimmten Stromstärke, z. B. in einem Ladekreise, oder die stufenweise Einschaltung des

[1]) E. V., § 12.

Stromes, z. B. beim Anlassen von Motoren, ermöglichen. Daneben eignen sie sich auch zur Unterbrechung von Stromkreisen, wenn sie so gebaut sind, daß kein Lichtbogen bestehen bleibt. Die Regulierwiderstände bestehen aus Spiralen von Rheotan, Nickelin oder Kruppin, die frei ausgespannt oder um runde Schiefer- oder Marmorplatten gelegt oder auf Porzellanrollen oder Schieferstücke gewickelt sind. Da die Widerstände sich oft stark erhitzen, muß ihre Unterlage feuersicher sein. Auf dem Widerstandsdraht schleift bei den kreisförmig angeordneten Spiralen ein um eine feste Achse drehbarer Kontaktarm und bei den auf Isolierstücke aufgewickelten Widerständen ein Schieber. Auf den Schieberwiderständen läßt sich eine größere Menge Widerstandsdraht unterbringen, als auf den Spiralwiderständen. Die ersteren sind daher billiger und handlicher. Wenn aus Spiralen größere Widerstände zusammengesetzt werden sollen, so läßt man das Kontaktstück nicht auf dem Drahte selbst schleifen, sondern auf Kontaktknöpfen, an denen die Enden der einzelnen Spiralen liegen (**Fig. 98**). Beim Drehen des Kontaktarmes über die Knöpfe ändert sich die Stromstärke stufenweise, weil die Widerstandsänderung nicht allmählich erfolgt. Für die genaue Einstellung einer bestimmten Stromstärke eignen sich daher die Stufenwiderstände nicht; man muß daneben noch einen Spiral- oder Schieberwiderstand benutzen. Sehr oft werden die Stufenwiderstände des guten Aussehens wegen hinter der Schalttafel eingebaut und mit einer Kurbelstange ausgerüstet, die durch die Schalttafel hindurchtritt und vorn ein Handrad trägt.

Fig. 98.

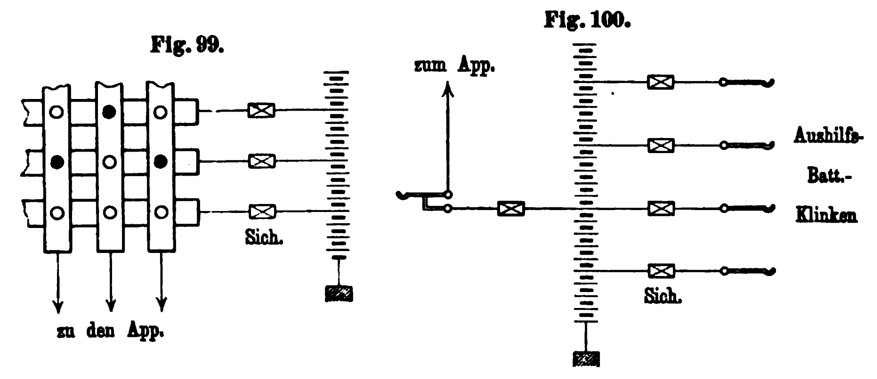


Zuweilen werden auch elektrische Glühlampen als Widerstände benutzt. Sie sind besonders da geeignet, wo hohe Widerstandswerte für mäßige Stromstärken erforderlich werden. Der Widerstand einer 16-kerzigen Glühlampe für 110 V beträgt beim Erglühen etwa 220 Ohm, in kaltem Zustande mehr. In der Regel befestigt man eine Anzahl von parallel geschalteten Lampenfassungen auf einem Holzbrett und trifft die Anordnung so, daß durch Herausnehmen oder Einsetzen von Lampen der Widerstandswert geändert werden kann. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß eine 110-voltige Lampe nicht mehr als 0,5 A und eine 24-voltige kleine Signallampe nicht mehr als 0,08 A Strom erträgt.

8. Verteilungseinrichtungen.

a) Umschalter mit Stöpselschienen. Die von der Batterie nach dem Betriebsraum geführten Zuleitungen müssen dort mit den einzelnen Telegraphenapparaten durch besondere Verteilungseinrichtungen verbunden werden. Früher wurden für diesen Zweck meist die im Telegraphenbetriebe gebräuchlichen Linienumschalter (**Fig. 99**), die aus zwei sich kreuzenden Sätzen von Messingschienen bestehen, verwendet. Durch Einsetzen eines Stöpsels in die an den Kreuzungsstellen vorhandenen Durchbohrungen kann jede beliebige Verbindung hergestellt werden. Die Stöpsel sind in der Regel so eingerichtet,

daß sie mit ihrem oberen vollen Teile das obere Loch ausfüllen und in das untere mit zwei federnden Ansätzen eintreten. Die federnde Wirkung des unteren Teils läßt aber oft nach, und an der Kontaktstelle entsteht dann ein Übergangswiderstand. Wenn dabei über den Stöpsel eine größere Anzahl von Leitungen gespeist wird, treten an der Übergangsstelle oft Spannungsverluste von mehreren Volt auf, was durch Spannungsmessung festgestellt werden kann. Außerdem haben die Linienumschalter den Nachteil, daß die blanken Schienen leicht Störungen veranlassen. Werden zwei Batterieschienen zufällig gleichzeitig mit einem Stöpsel berührt oder versehentlich auf dieselbe Apparatschiene geschaltet, so entsteht ein Kurzschluß, der die Hauptsicherungen durchbrennt und den Betrieb stört. Schließlich ist auch der geringe Abstand zwischen einer auf niedrige Spannung geschalteten Apparatschiene und den Batterieschienen mit hoher Spannung insofern gefährlich, als nach einer zufälligen metallischen Verbindung zwischen beiden ein Lichtbogen bestehen bleiben kann.



b) **Klinkenumschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung.** Die Reichs-Telegraphenverwaltung verwendet jetzt für die Verzweigung und Umschaltung der Batteriezuleitungen Klinkenumschalter, die zugleich zur Umschaltung der Apparate und Leitungen benutzt werden. Für jede Leitung enthält der Klinkenumschalter neben der Apparat- und der Leitungsklinke eine Batterieklinke, die eine dauernde Verbindung mit einer bestimmten Batteriestufe herstellt, wie in **Fig. 100** angedeutet ist. Soll ausnahmsweise eine andere Spannung verwendet werden, so wird die Klinkenfeder durch eine Schnur mit zwei Stöpseln an eine der Aushilfsklinken angeschlossen und zugleich von ihrem Auflager abgehoben. Die Stöpselspitzen sind isoliert, damit keine Kurzschlüsse eintreten. Die Schnurlitze ist mit dem Körper des Stöpsels verbunden.

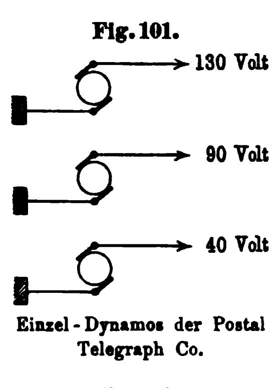
c) **Einrichtung des H. T. A. in Paris.** Bei der Anlage des Haupt-Telegraphenamts in Paris, auf die später noch zurückgekommen werden soll, gelangen die Leitungen von der Batterie über die Umschalteeinrichtung und den Walzenumschalter zu einem Verteilungsbrett, an dem sie in Stränge von mehreren, besonders gesicherten Leitungen aufgelöst werden. Die Stränge führen zu kreisförmig angeordneten Klemmen, die den Anschluß der Apparate vermitteln.

II. Betriebsweise.

1. Speisung unmittelbar aus Dynamomaschinen.

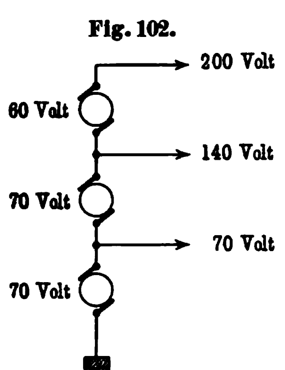
a) Amerikanischer Dynamobetrieb für Telegraphenzwecke. Neben den Primärelementen dienen die Dynamomaschinen als Stromquellen für den Telegraphen- und Fernsprechbetrieb [1]). Unmittelbar zur Stromlieferung für Telegraphenzwecke sind sie in vielen Betrieben in Nordamerika eingeführt worden, als die Sammler noch nicht genügende Sicherheit für die Verwendung im Telegraphenbetriebe boten.

Fig. 101.



Einzel-Dynamos der Postal Telegraph Co.

Fig. 102.



Hintereinandergeschaltete Dynamos der Western Union Telegraph Co.

S c h a l t u n g e n. In den Anlagen der Postal Telegraph Co. speist jede Dynamo für sich eine Gruppe von Leitungen mit einer passenden Spannung (**Fig. 101**); bei der Western Union Telegraph Co. werden die erforderlichen Spannungsstufen durch Hintereinanderschaltung mehrerer Maschinen von annähernd gleicher Spannung gebildet (**Fig. 102**). Es sind meist drei Sätze von je drei bis acht Stromerzeugern für Stromstärken bis zu 53 A vorhanden. Davon liefert in der Regel der eine Satz positiven und der zweite negativen Strom, während der dritte bei Störungen für jeden der beiden anderen eingeschaltet werden kann. Jeder Maschinensatz wird durch eine Dampfmaschine oder einen aus dem Starkstromnetze gespeisten Elektromotor mit Hilfe eines Vorgeleges oder einer Kupplung angetrieben. Der Strombezug ist oft durch den Anschluß an zwei verschiedene Kraftwerke und durch Herstellung von mehreren getrennt verlegten Anschlüssen sichergestellt. Von den Stromerzeugern speist einer die Feldbewicklungen in Parallel- oder Hintereinanderschaltung. Häufig liefert die Einrichtung auch die Energie zum Betriebe von Rohrpostanlagen und dergleichen. Da die Zahl der Spannungsstufen nicht groß ist, passen sie sich nicht genau den Bedürfnissen des Betriebes an. Für einen Teil der Leitungen müssen deshalb die Spannungen durch Einschaltung passender Widerstände in die Apparatzuführungen ermäßigt werden. Dazu dienen meist Glühlampenwiderstände.

Wie die graphischen Darstellungen (Fig. 20 u. 21 a. S. 25 u. 26) ergeben, gehört die Dynamospeisung zu den billigsten Betriebsarten. Wesentlich günstiger noch stellt sich die Berechnung für hohe Stromstärken, wie sie in Amerika erforderlich sind. Vorteilhaft ist der Dynamobetrieb auch deshalb, weil die Maschinen nur etwa ein Zehntel des Raumes von Primärbatterien beanspruchen. An Betriebssicherheit stehen die Dynamoeinrichtungen aber

[1]) Vgl. K a r r a s s, Geschichte der Telegraphie (I. Teil), S. 581 ff.

weit hinter den Batterieanlagen zurück, da die umlaufenden Teile der Maschinen mehr der Beschädigung ausgesetzt sind als ruhende Elemente.

b) **Dynamospeisung mit Abzweigwiderstand.** Schaltung. Statt einer Reihe von Dynamomaschinen wird zuweilen nur eine Maschine mit hoher Spannung oder auch das Starkstromnetz unmittelbar zur Speisung der Telegraphenleitungen benutzt. Zwischen beide Pole werden Widerstände geschaltet, in denen sich die Spannung von + über 0 nach — abstuft (Fig. 103). Die Widerstände sind dauernd von Strom durchflossen. Auf jeder Spannungsstufe zweigt sich ein Teil des Stromes nach den dort angeschlossenen Leitungen ab, so daß die Stromstärke des Widerstandes nach der Erdleitung hin immer kleiner wird. Die Spannung der einzelnen Stufen ist nach dem Ohmschen Gesetz abhängig von der Stromstärke der Widerstandsstücke und schwankt daher beim Arbeiten in den Leitungen. Um die Spannungsschwankungen so zu beschränken, daß sie keine Störungen mehr verursachen, darf man den Wert des Querwiderstandes nicht zu groß wählen. Er darf aber andererseits auch nicht zu klein sein, weil sonst der nutzlose Stromfluß von Pol zu Pol stark zunimmt.

Fig. 103.

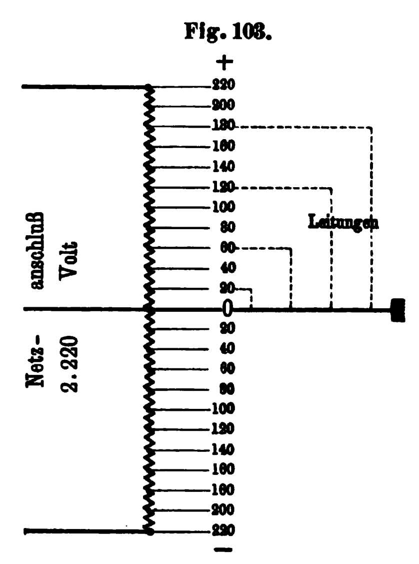
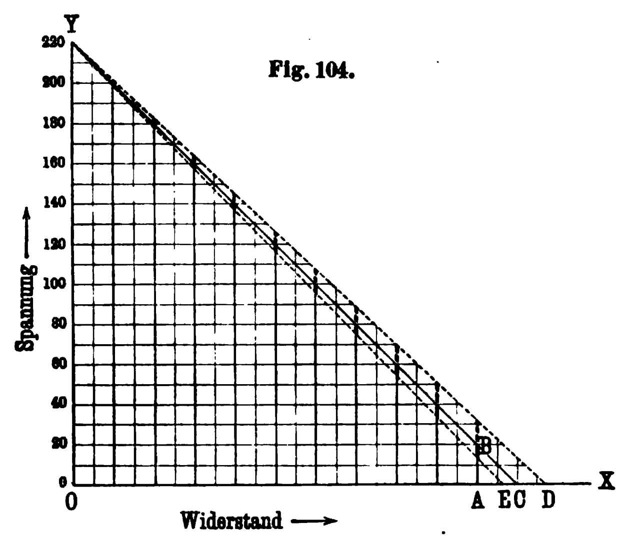


Fig. 104.



Stromverluste. Bei der untersten Spannungsstufe von 20 V, an der sich die Schwankungen am stärksten geltend machen, möge eine große Anzahl von Ruhestromleitungen angeschlossen sein. Werden alle diese Leitungen durch Tastendruck zugleich unterbrochen, z. B. beim Uhrenzeichen, so nimmt

der Widerstand des untersten Teils erheblich zu; in demselben Maße steigt die Spannung. Umgekehrt tritt, wenn alle bei 20 V angeschlossenen Arbeitsstromleitungen Strom entnehmen, ein merkliches Sinken der Spannung ein. Es soll eine Zunahme der Spannung um die Hälfte und eine Abnahme um ein Drittel zugelassen werden. Welchen Wert dann die unterste Abteilung des Querwiderstandes haben muß, ergibt sich aus **Fig. 104,** in der die Widerstandswerte auf der X-Achse und die Spannungswerte auf der Y-Achse abgetragen sind. Die Linie YC veranschaulicht die Abnahme der Spannung in den Widerständen von 220 bis auf 0; ihre Schnittpunkte mit den Loten geben die Höhe der Spannung auf den einzelnen Stufen an. Bei Widerstandserhöhungen oder -Verminderungen in der untersten Gruppe ändern sich die Verhältnisse, wie die punktierten Linien angeben. $AB = 20$ V ist die Spannung der untersten Stufe während der Ruhe, AC ihr Widerstand, der sich aus dem Widerstande der stromführenden Ruhestromleitungen und dem Stück des Abzweigwiderstandes zusammensetzt. Trägt man auf dem Lote AB von B ab die Hälfte nach oben und ein Drittel nach unten ab und zieht durch die erhaltenen Punkte von Y ab die Spannungslinien (punktiert), so erhält man auf der X-Achse die Punkte D und E. AD ist dann der für den Ruhestrombetrieb zu wählende Wert des Abzweigwiderstandes = 3,3 Teilstrichen. AC ist der kombinierte Widerstand gleich 2. Der gemeinschaftliche Widerstand der Ruhestromleitungen sei gleich x. Dann ist

$$3{,}3 \times x/(3{,}3 + x) = 2 \quad \text{und} \quad x = 5.$$

Danach muß der Widerstand der Leitungen $5/3{,}3 = 1^1/_2$ mal so groß sein als derjenige des parallel geschalteten Abzweigwiderstandes. Durch diesen muß also das $1^1/_2$ fache des Leitungsstromes nutzlos hindurchfließen. Für die Arbeitsstromleitungen mit dem Gesamtwiderstande x gilt die Gleichung:

$$AC \times x/(AC + x) = AE \quad \text{oder} \quad 2 \times x/(2 + x) = 1{,}3 \quad \text{oder} \quad x = 4.$$

Für diese beträgt danach der nutzlose Stromverbrauch das $^4/_2$ fache des höchsten Nutzstromes, mithin annähernd so viel wie bei den Ruhestromleitungen. Wenn die Zahl der gleichzeitig arbeitenden Leitungen ein Drittel der Gesamtzahl nicht übersteigen kann, läßt sich der Stromfluß des Abzweigwiderstandes auf ein Drittel des oben berechneten Wertes oder die Hälfte des Nutzstromes ermäßigen. Wäre die unterste Spannungsstufe niedriger als 20 V, so müßte der nutzlose Strom erhöht werden. Um dies zu vermeiden, wird man Leitungen, die 10 V Spannung erfordern, mit 20 V speisen und den überschüssigen Teil von 10 V durch Widerstände in den Apparatzuführungen vernichten.

Kosten. Neben dem Stromverlust tritt auch ein Spannungsverlust in den Widerständen ein, da die Mehrzahl der Leitungen mit niedrigen Spannungen gespeist wird. Der Grad der Energieausnutzung ergibt sich aus folgender Betrachtung. Es werde eine Netzhälfte von 220 V zur Speisung von Z Ruhestromleitungen mit durchschnittlich 15 V und der gleichen Anzahl Arbeitsstromleitungen mit durchschnittlich 60 V benutzt. Die Stromstärke einer Leitung betrage i A. Der gesamte Energieverbrauch beider Leitungsarten und des Widerstandes beträgt $Z \times i \times (^{23}/_{24} + {}^1/_{24} + {}^1/_2) \times 220$ W. Wird davon die Hälfte mit $Z \times i \times 1{,}5 \times 110$ W auf jede Leitungsart gerechnet, so beträgt der Wirkungsgrad

1. für Ruhestromleitungen bei einem Verbrauch von $Z \times i \times 15$ W:

$$\frac{Z \times i \times 15}{Z \times i \times 1{,}5 \times 110} = {}^1/_{11} \quad \text{oder} \quad 9 \text{ Proz.};$$

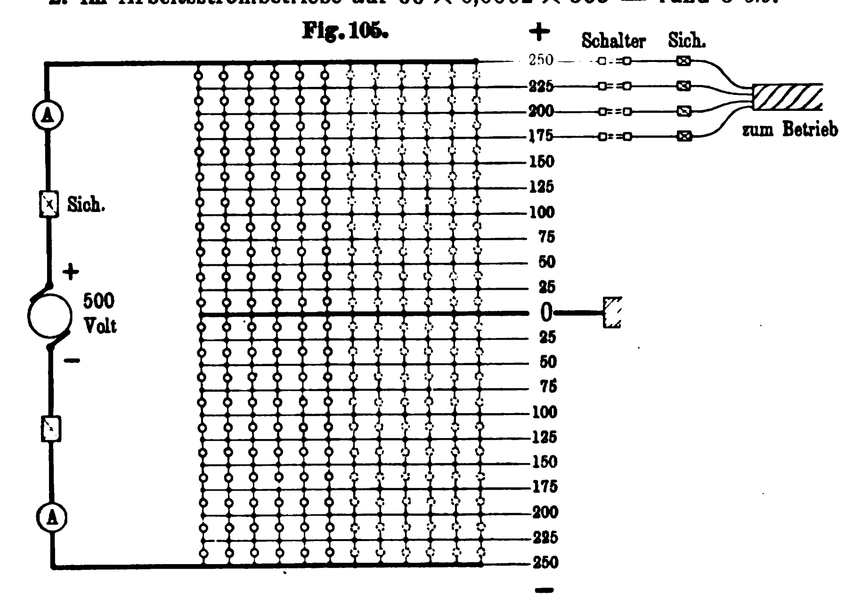
2. für Arbeitsstromleitungen bei einem Verbrauch von durchschnittlich $^1/_{24}$ der Höchststärke $= Z \times i \times 60/24$ W:

$$\frac{Z \times i \times 60}{24 \times Z \times i \times 1{,}5 \times 110} = {}^1/_{66} \quad \text{oder} \quad 1{,}5 \text{ Proz.}$$

Danach belaufen sich die jährlichen Kosten, wenn 1 Wattstunde 0,0002 *M* kostet, für 1 V und 1 A

1. im Ruhestrombetriebe auf $11 \times 0{,}0002 \times 24 \times 365$ = rund 20 *M*;
2. im Arbeitsstrombetriebe auf $66 \times 0{,}0002 \times 365$ = rund 5 *M*.

Fig. 105.



Dynamospeisung mit Querwiderstand beim Telegraphenamt Budapest.

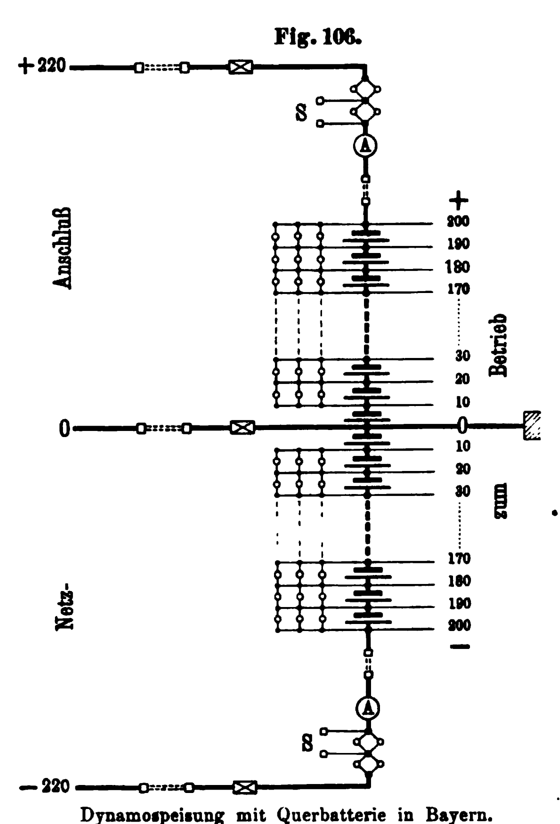
Die Bedienungs- und Unterhaltungskosten sind unerheblich. Infolgedessen ist die Netzspeisung mit Querwiderstand, wie sich aus den Kurventafeln ergibt, nicht kostspieliger als die teureren Arten des Sammlerbetriebes. Sie hat den Vorteil der geringen Raumbeanspruchung, aber den großen Nachteil der Abhängigkeit von einer fremden Kraftquelle.

Einrichtung beim Telegraphenamt in Budapest. Die Betriebsweise ist mehrfach in Frankreich benutzt worden. Auch in Budapest [1]), wo die beschränkten Räumlichkeiten eine Batterie nicht aufzunehmen vermochten, wird sie verwendet. Die Schaltung der Budapester Anlage enthält **Fig. 105.** Der Querwiderstand wird durch sechs Reihen von 25-voltigen Glühlampen gebildet, noch sechs Reihen dienen als Vorrat; es bestehen dementsprechend Spannungsstufen von 25 V. Zu versorgen sind 90 Ruhestromleitungen mit

[1]) Neuerungen an den ungarischen Telegraphen- und Telephoneinrichtungen. Herausgegeben von der Königl. Ung. Post- u. Telegraphen-Generaldirektion. Budapest 1902.

$90 \times 0{,}02 \times 0{,}9 = 1{,}62$ A und 71 Arbeitsstromleitungen mit durchschnittlich $71 \times 0{,}02 \times 0{,}1 = 0{,}14$ A. Der Netzstrom wird nicht unmittelbar verwendet, sondern noch umgeformt. Es sind drei umlaufende Umformer vorhanden, von denen einer im Betriebe ist. Zum Antrieb dient das Wechselstromnetz, dessen Spannung durch Transformatoren von 100 auf 380 V gebracht wird, so daß die Umformer 500 V liefern können. Der Anschluß an das Wechselstromnetz ist doppelt hergestellt. Falls der Wechselstrom versagt, schaltet man einen aus dem vorhandenen Gleichstromnetz angetriebenen Elektromotor ein, der mittels eines Vorgeleges einen der Stromerzeuger treibt. Als dritte Reserve dient ein Benzinmotor, der auf dasselbe Vorgelege arbeiten kann.

Fig. 106.



Dynamospeisung mit Querbatterie in Bayern.

c) Dynamospeisung mit Abzweigbatterie im Bayerischen Telegraphenbetriebe. Schaltung. Statt der Abzweigwiderstände werden in Bayern [1]) Sammlerbatterien als Spannungsteiler an die Speiseleitungen mit gleichen Polen nach Art von Pufferbatterien angeschlossen (**Fig. 106**). Sie dienen zugleich als Reserve für den Fall von Netzstörungen. Die Abstufung der Spannung von einem Pol zum anderen wird nicht, wie bei den Widerständen, durch einen Stromfluß bewirkt, sondern durch die den Sammlern eigene Gegenspannung, die den nutzlosen Verbrauch auf einen sehr geringen Betrag beschränkt. Aus dem Netze wird nur der durchschnittliche Strombedarf der Leitungen mit gleichmäßiger Stromstärke entnommen. Steigt der Stromverbrauch der Leitungen zeitweise, so nimmt die Batterie an der Stromlieferung teil; sinkt er, so empfängt die Batterie Ladestrom. Während der Nacht kann das Netz ganz abgeschaltet werden. Zur Einstellung der Durchschnittsstromstärke, die an den Strommessern A abgelesen werden kann, dienen die an den beiden Polen vorgeschalteten Glühlampengruppen. Ein Teil ihres Widerstandes läßt sich durch Schließen der Schalter S überbrücken. Dieses Mittel bewirkt eine Verstärkung des Stromzuflusses und dient zur zeitweiligen Volladung der Batterie. Die

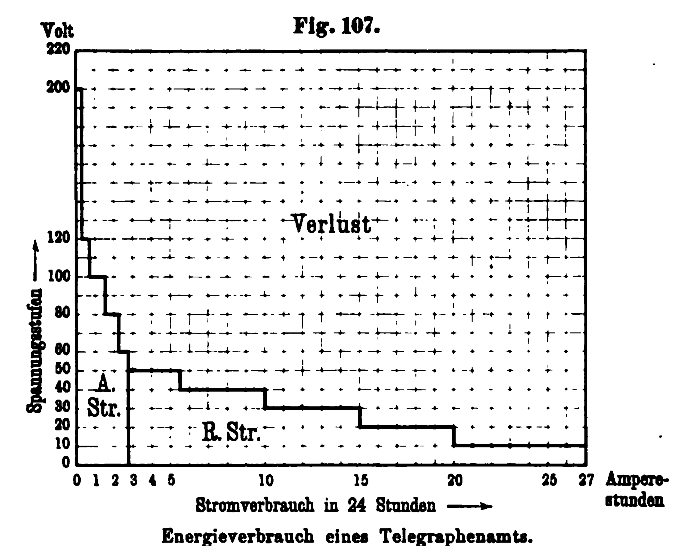
[1]) E. T. Z. 1905, S. 789.

Spannungserhöhung, die dabei eintritt, ist gering und macht sich im Betriebe nicht bemerklich.

An die oberen Batteriegruppen sind die Arbeitsstromleitungen mit geringem Stromverbrauch angeschlossen. Diese Gruppen müßten daher durch den Strom der Ruhestromleitungen dauernd überladen werden. Um dies zu verhüten, sind ihnen passende Glühlampenwiderstände parallel geschaltet, die einen Teil des Netzstromes ableiten und außerdem während der Abschaltung des Netzes für eine Entladung der oberen Gruppen sorgen. Wenn die Widerstände richtig bemessen sind, müssen bei der Volladung alle Zellen binnen kurzer Zeit und zugleich zur Gasentwicklung kommen.

Kosten. Der Wirkungsgrad der Anlagen ist günstiger als bei der Dynamospeisung mit Querwiderstand, da der nutzlose Stromverbrauch beinahe ganz fortfällt; er beträgt das 1,5 fache, mithin für Ruhestromleitungen

Fig. 107.



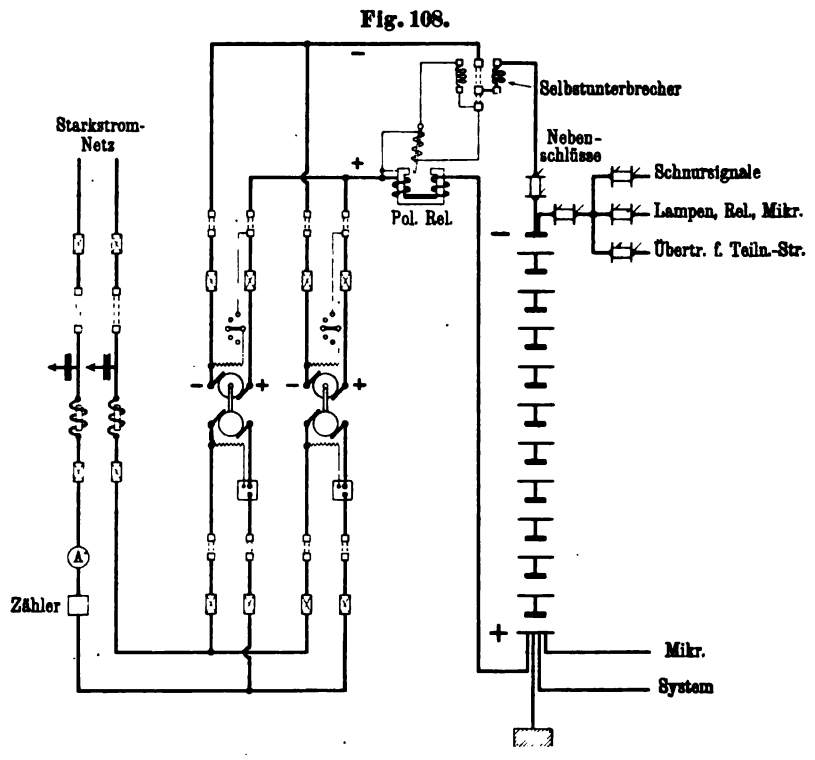
Energieverbrauch eines Telegraphenamts.

$^3/_{22}$ oder 14 Proz. und für Arbeitsstromleitungen $^1/_{44}$ oder 2,3 Proz. Die Jahreskosten belaufen sich für 1 W einschließlich der Unterhaltungskosten von 0,6 *M* auf 14 *M* im Ruhestrombetriebe und 4 *M* im Arbeitsstrombetriebe.

Bei der in der E. T. Z. von 1905 auf S. 789 beschriebenen Bayerischen Anlage kann das Netz nicht unmittelbar zur Speisung der Leitungen benutzt werden, da es Drehstrom führt. Es mußte ein Umformersatz mit 38 Proz. Wirkungsgrad aufgestellt werden. Durch die Batterie fließen für 100 Ruhe- und 100 Arbeitsstromleitungen 0,5 A. Der gesamte Energieverbrauch für die positive und negative Netzhälfte zusammengenommen ist in **Fig. 107** dargestellt. Er beträgt täglich im ganzen 27×220 = rund 6000 WS; davon werden nutzbar verwendet für die Ruhestromleitungen 650 WS und für die Arbeitsstromleitungen 150 WS. Der Wirkungsgrad ist danach für den Ruhestrom $= 0{,}38 \times 650/3000 = 8$ Proz. und für den Arbeitsstrom $0{,}38 \times 150/3000 = 1{,}9$ Proz. Dies verhältnismäßig günstige Ergebnis ist dadurch bedingt, daß der stärkere Stromverbrauch sich nicht auf die untersten Spannungsstufen beschränkt.

d) Dynamospeisung im amerikanischen Fernsprechbetriebe. Allgemeines. In Amerika [1]) werden vielfach auch Fernsprecheinrichtungen mit Z.B.-Betrieb unmittelbar aus Dynamomaschinen gespeist. Die Maschinenspannung weist aber, wie früher erörtert ist, infolge der Kommutierung kleine Schwingungen auf, die sich im Fernhörer als singender Ton störend bemerklich machen. Auch bei Verwendung besonders gebauter Maschinen oder bei Einschaltung von Drosselspulen verschwindet der Ton nicht ganz. Zur Aufnahme der kleinen Stromstöße wird deshalb eine Pufferbatterie mit geringem Widerstande zwischen die Betriebszuleitungen geschaltet. Sie stellt

Fig. 108.



Amerikanische Dynamospeisung mit Pufferbatterie für Fernsprechbetrieb.

zugleich eine bei der Unsicherheit des Maschinenbetriebes notwendige, stets betriebsfertige Ersatzstromquelle dar. Außerdem dient sie in den Tagesstunden mit besonders starkem Verkehr zur Unterstützung der Dynamo und während der Nacht zur Deckung des gesamten Strombedarfs.

Schaltung. Die übliche Schaltungsweise der Anlagen ergibt sich aus **Fig. 108.** Meist wird die Antriebskraft einem Starkstromnetz in zwei getrennten Anschlüssen entnommen. Häufig sind zwei Maschinensätze vorhanden, von denen jeder an ein anderes Werk angeschlossen ist. Zuweilen werden zum Antrieb oder Ersatz Dampfmaschinen oder Gasmotoren aufgestellt. Diese Maschinen versorgen die Vermittelungsämter zuweilen auch

[1]) Kempster B. Miller, American Telephone Practice 1905; Abbot, Telephony 1905; The American Telephone Journ. 1906, S. 2.

mit Licht. Die Lademaschinen für 24-voltige Fernsprechsysteme liefern in der Regel bis zu 30 V; zuweilen kann ihre Spannung so weit ermäßigt werden, daß die Nachladung einzelner zurückgebliebener Zellen möglich ist. Wenn zwei Maschinen vorhanden sind, so arbeiten sie auf gemeinsame Speiseleitungen, die eine selbsttätige Ausschaltevorrichtung für Über- und Rückstrom enthalten. Zwischen die Speiseleitungen sind bei 24-voltigen Systemen 11 Sammlerzellen geschaltet. In der Figur sind nach amerikanischer und englischer Art die negativen Zellenpole durch dicke und die positiven durch längere dünne Striche dargestellt. An die positive Seite ist eine Erdleitung, eine gemeinschaftliche Zuführung zum System und eine Zuleitung zur Schalttafel für Mikrophonzuführungen angeschlossen. Von dem negativen Pole zweigen sich die verschiedenen Arten von Verbrauchskreisen ab. Die Verzweigungen enthalten Nebenschlüsse zu einem in der Abbildung nicht angegebenen Strommesser, so daß ihre Stromstärken mit Hilfe eines Sparschalters gemessen werden können. In der Regel lassen sich folgende Stromstärken ermitteln: 1. Maschinenstrom, 2. gesamter Betriebsstrom, 3. Strom für Schnursignale, 4. Strom für Anruflampen, Relais, Amtsmikrophone, 5. Teilnehmersprechstrom in Übertragern. Die Spannungsmessungen werden ebenfalls mit Sparschaltern ausgeführt. Meist sind zwei Spannungsmesser vorhanden, einer für die Maschinen- und Batteriespannung und ein zweiter für die einzelnen Sammlerzellen, deren Pole durch besondere Meßleitungen mit der Schalttafel verbunden sind.

Bemerkenswert sind die in den Netzanschluß eingeschalteten Blitzableiter und Drosselspulen, denen die Aufgabe zufällt, etwaige atmosphärische Entladungen zur Erde abzuleiten, sowie der selbsttätige Ausschalter, der den Stromkreis nicht nur beim Sinken des Stromes, sondern auch bei Überschreitung einer bestimmten Höchststärke unterbricht. Die Anordnung ist folgende. Die Verbindung zwischen Maschine und Batterie enthält in der Minusleitung einen Selbstunterbrecher und in der Plusleitung ein polarisiertes Relais. Der Unterbrecher hat eine vom Hauptstrom durchflossene Spule, in die ein Eisenkern je nach der Stromstärke mehr oder weniger tief hineingezogen wird. Bei Überschreitung einer bestimmten Eintauchtiefe löst der Kern einen Haltemechanismus und gestattet dadurch einer Feder, den Schalterhebel zurückzuschnellen. Bei starkem Sinken der Stromstärke geschieht die Unterbrechung unter Mitwirkung des polarisierten Relais, das ebenfalls vom Hauptstrom durchflossen wird. Der Anker des Relais hat eine Umwindung von hohem Widerstande, die in Brücke zwischen + - und — -Leitung liegt. Das untere Ende des Ankers erhält denselben Magnetismus wie der linke Polschuh des Relais, so daß beide Teile sich abstoßen. Entladet sich nun bei einem Sinken der Ladespannung die Batterie nach der Maschine, so wechselt das Relais seinen Magnetismus und zieht den Anker an. Dadurch wird eine zweite hochohmige Wicklung des Unterbrechers in Brücke zwischen die + - und — -Leitung geschaltet. Die Wicklung wirkt ebenfalls auf den Tauchkern und unterbricht den Stromkreis.

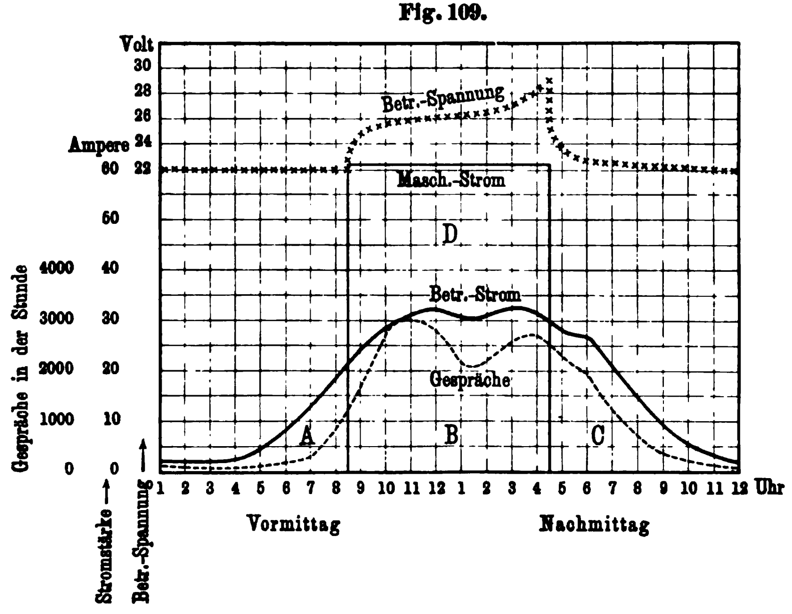
Zusammenarbeiten von Maschine und Batterie. Die **Fig. 109** veranschaulicht die Stromverhältnisse einer amerikanischen Vermittelungsanstalt, die hauptsächlich Geschäftsanschlüsse hat [1]). Entsprechend der

[1]) Electrical World 1907, S. 548.

amerikanischen Geschäftszeit steigt der Stromverbrauch von früh bis zur Mittagszeit, hält sich dann einige Stunden auf annähernd derselben Höhe und fällt von 4 Uhr an wieder ab. Bei Anstalten, die vorwiegend Wohnungsanschlüsse haben, ist der Stromverbrauch wesentlich anders. Er erreicht ein Maximum etwa um 10 Uhr früh, nimmt dann bis zur Mittagsstunde wenig ab, steigt wieder bis etwa 7 Uhr und sinkt schließlich bis Mitternacht.

Der Stromverbrauch ist in die Teile *A*, *B* und *C* zerlegt. *A* und *C* liefert die Batterie, *B* die Maschine, die von $8^1/_2$ bis $4^1/_2$ Uhr läuft. Sie ladet zugleich während ihrer achtstündigen Betriebsdauer in die Batterie

Fig. 109.



Strom- und Spannungsverhältnisse einer amerikanischen Vermittelungsanstalt (Geschäftsgegend).

eine Strommenge *D* hinein, die der Summe von *A* und *C* mit $33^1/_3$ Proz. Zuschlag entspricht. Der Betrag *D* gibt die erforderliche Kapazität der Batterie an.

Die Betriebszeit der Maschine ist bei vielen Anstalten länger. Sie wird häufig so weit ausgedehnt, daß die Batterie nach dem Aufhören des größeren Stromverbrauchs wieder annähernd vollgeladen werden kann. Die Maschine liefert dann eine geringere Stromstärke und bedarf während der stärksten Verkehrsstunden der Unterstützung der Batterie. Die Dynamo wird in der Regel von vornherein für den weiteren Ausbau der Anstalt bemessen. Auch die Batterie wird häufig größer gewählt, als es ihre Beanspruchung erfordert, damit beim Versagen der Maschine ein Ersatz vorhanden ist. In vielen Fällen vermag sie den 24-stündigen Bedarf zu decken, zuweilen ist sie noch größer. Damit eine spätere Vermehrung der Platten möglich ist, werden sie in der Regel in eine größere Gefäßtype eingebaut.

Spannungsschwankungen. Das Zusammenarbeiten von Maschine und Batterie regelt sich insofern selbsttätig, als letztere an der Stromliefe-

rung teilnimmt, sobald die Maschinenspannung bei zunehmender Belastung unter die Spannung der 11 Zellen = 22 V sinkt. Übersteigt dagegen die Dynamospannung 22 V, so empfängt die Batterie Ladestrom. Dabei steigt ihre Spannung bald auf $11 \times 2{,}3 = 25{,}3$ V und nach einiger Zeit, falls die Stromstärke nicht allzu gering ist, auf $11 \times 2{,}6 = 29$ V. Zur Vermeidung von Sulfatbildungen ist sogar zeitweise eine Steigerung der Spannung bis auf $11 \times 2{,}7 = 30$ V erwünscht. Die dabei eintretenden Veränderungen der Betriebsspannung sind in Fig. 109 durch eine besondere Schaulinie angegeben worden. Spannungsschwankungen zwischen 22 und 28 V sind für den Betrieb der Relais, Mikrophone und Lampen noch nicht sehr störend. Die meist benutzten „24-voltigen" Glühlampen sind für eine Spannung von 28 V gebaut, haben aber bei 22 V noch genügende Leuchtkraft. Eine häufigere Beanspruchung mit hoher Spannung beeinträchtigt jedoch die Lichtstärke und verkürzt die Lebensdauer der Lampen, um so mehr als sie bei 22 Volt ohnehin schon schwächer glühen.

Vorteile. Neben diesem Nachteile hat die Dynamospeisung den Vorteil, daß die Umsetzung der Energie in der Batterie, die mit mindestens 25 Proz. Verlust verbunden ist, teilweise erspart wird. Außerdem wird beim Fehlen einer zweiten Batterie das Raumbedürfnis verringert und die Schaltung und Wartung der Anlage vereinfacht. Die Maschinen- und Batterieanlage wird in Amerika vielfach im Umschalteraum mit untergebracht und von dessen Personal bedient.

2. Parallelschaltung von Primär- und Sammler-Batterien.

a) Telegraphenbetrieb. Betriebsweise. Nach Art des Dynamobetriebes mit Sammlerbatterie hat die Reichs-Telegraphenverwaltung vielfach für den Telegraphenbetrieb parallel geschaltete Kupfer- und Sammlerbatterien in solchen Orten verwendet, wo kein Starkstromnetz vorhanden war. Die Sammlerbatterie dient dabei nicht als Spannungsteiler, weil ja aus Kupferelementen Gruppen von passender Spannung gebildet werden können, sondern sie hat die Aufgabe, bei stärkerer Belastung den größten Teil der Stromlieferung zu übernehmen und so ein Sinken der Klemmenspannung zu verhüten. Während der Zeiten mit schwachem Verkehr wird sie von den Primärelementen wieder aufgeladen. Diese haben daher auch im Arbeitsstrombetriebe nur die Durchschnittsstromstärke zu liefern und können ohne Rücksicht auf den inneren Widerstand nach der vorteilhaftesten Schaltung angeordnet werden (vgl. Fig. 133 a. S. 178). Deshalb ist, wie sich aus der Übersicht auf der vierten Ausschlagtafel und den Kurventafeln (Fig. 20 u. 21 a. S. 25 u. 26) ergibt, der Parallelbetrieb für Arbeitsstromleitungen sehr vorteilhaft. Er verursacht in manchen Fällen sogar geringere Kosten als die Netzspeisung oder Netzladung, nämlich wenn von der Netzspannung nur ein geringer Teil ausgenutzt werden kann.

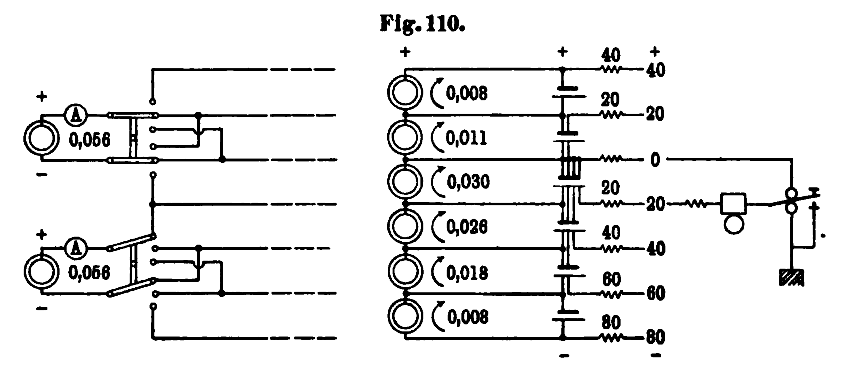
Wenn die Primärbatterie dauernd angeschlossen ist, fließt ein Teil des Stromes nutzlos durch die Sammler. In kleinen Anlagen ist dieser Verlust schon von Bedeutung. Für eine Arbeitsstromleitung mit täglich 0,02 AS Stromverbrauch wird daher ein dauernder Gleichstrom von 0,001 A erforderlich, während die Rechnung nur $0{,}02/24 = 0{,}0008$ A ergibt. Ebenso

ist bei geringer Beanspruchung die Selbstentladung der Sammler von Bedeutung; sie kann für Zellen von 14 AS mit täglich 14/100 angesetzt werden und macht einen dauernden Strom von 14/(100 × 24) = 0,006 A erforderlich. Der Stromverbrauch eines kleinen Amts ist nachstehend berechnet.

Spannungsstufe V	Zahl der Arbeitsstromleitungen	Durchschnittlicher Dauerstrom in der Betriebszuleitung A	Durchschnittlicher Dauerstrom in der Sammlergruppe A	Gesamtstrom der Sammlergruppe einschließlich 0,006 A für Selbstentladung A		Stromverbrauch in 24 Stunden AS	
+ 40	2	0,002	0,002	0,008	0,049	0,192	1,176
+ 20	3	0,003	0,005	0,011		0,264	
Erdleitung							
— 20	4	0,004	0,024	0,030		0,720	
— 40	8	0,008	0,020	0,026	0,052	0,624	1,248
— 60	10	0,010	0,012	0,018		0,432	
— 80	2	0,002	0,002	0,008		0,192	

Die zugehörige Schaltungszeichnung enthält **Fig. 110.** Die Sammler sind in der üblichen Weise, die Primärelemente durch Kreise angedeutet. Von den mit höherer Spannung gespeisten Leitungen werden, wie in der Figur ersichtlich gemacht ist, die unteren Batteriegruppen mitbenutzt. Die

Fig. 110.



Parallelschaltung von Kupferelementen und Sammlern im Telegraphenbetriebe.

Belastung nimmt daher nach der Erdleitung hin zu. Jeder 10-zelligen Sammlergruppe ist im rechten Teil eine Kupferbatterie parallel geschaltet. Da die Durchnittsstromstärke in keiner Abteilung über 0,06 A steigt, genügen einreihige Kupferbatterien. Ihre Spannung muß nach der zu liefernden Stromstärke bemessen werden. Sie wird teils zur Überwindung der Sammlergegenspannung und teils zur Deckung des Spannungsverlustes in den Kupferelementen verbraucht. Die sonstigen Teile des Stromkreises haben verhältnismäßig geringen Widerstand und verursachen keine wesentlichen Spannungsverluste. Die Gegenspannung eines Sammlers steigt bei schwachen Ladeströmen bis auf 2,2 V. In einem Kupferelement entsteht bei einem inneren Widerstande von 8 Ohm und einer Stromstärke i ein Spannungsverlust von $8\,i$ V.

Zur Ladung eines Sammlers mögen z Kupferelemente nötig sein. Sie besitzen eine EMK von z V, wenn jedes 1 V hat. Danach ist $z = 2{,}2 + 8\,iz$ oder $z = 2{,}2/(1 - 8\,i)$ und $i = (z - 2{,}2)/8\,z$. Die Stromstärke, die eine Sammlerzelle aus einer verschieden großen Reihe von Kupferelementen empfängt, ist nachstehend nach der letzten Formel berechnet:

Zahl der Elemente	Strom für 1 Sammler	Zahl der Elemente	Strom für 1 Sammler	Zahl der Elemente	Strom für 1 Sammler
2,3	0,005	3	0,033	3,7	0,051
2,4	0,010	3,1	0,036	3,8	0,053
2,5	0,015	3,2	0,039	3,9	0,054
2,6	0,019	3,3	0,042	4	0,056
2,7	0,023	3,4	0,044	4,1	0,058
2,8	0,027	3,5	0,046	4,2	0,060
2,9	0,030	3,6	0,049		

Aus dieser Berechnung läßt sich für alle Verhältnisse die erforderliche Anzahl von Kupferelementen entnehmen. Da in dem angenommenen Beispiel die Sammlergruppen 10 Zellen haben, ist die zehnfache Anzahl Speiseelemente nötig. Ihre Zahl beträgt für die einzelnen Abteilungen bei:

$$\frac{0{,}008 \quad 0{,}011 \quad 0{,}030 \quad 0{,}026 \quad 0{,}018 \quad 0{,}008\text{ A}}{24 \quad 25 \quad 29 \quad 28 \quad 26 \quad 24\text{ St.}}, \text{ zusammen 156 Stück.}$$

Wenn die Durchschnittsstromstärke 0,06 A übersteigt, müssen zwei oder mehr Reihen von Elementen benutzt werden. Ihre Anzahl ergibt sich ebenfalls aus obenstehender Berechnung, z. B.:

$$\frac{\text{Zahl der Elemente (zweireihig)} \quad 2 \times 3 \quad 2 \times 3{,}1}{\text{Strom für 1 Sammler} \quad 2 \times 0{,}033 \quad 2 \times 0{,}036} \text{ usw.}$$

Für Elemente mit geringerem Widerstande oder neu angesetzte Kupferelemente würde in die Formel $i = (z - 2{,}2)/8\,z$ an Stelle von 8 der kleinere Wert einzusetzen sein. Die gelieferte Stromstärke wird dann entsprechend höher. So z. B. geben neu angesetzte Kupferelemente mit 4 Ohm Widerstand den doppelten Strom her. Man kann diesen Umstand benutzen, um die Zahl der Elemente anfänglich geringer zu bemessen und erst bei zunehmendem Widerstande zu erhöhen.

Da die Unterhaltungskosten einer Kupferbatterie weniger von der Stärke der Belastung als von der Anzahl der Elemente abhängig sind, wird der Betrieb bei schwacher Beanspruchung unwirtschaftlich. In dem angenommenen Beispiele haben alle Gruppen nur geringe Stromstärken. Um sie bis zur größten Leistungsfähigkeit der Kupferelemente von 0,06 A zu erhöhen, empfiehlt es sich, nur zwei Primärbatterien von größerer Zellenzahl zu verwenden und sie mit Hilfe von Kurbelumschaltern auf mehrere Sammlergruppen nacheinander zu schalten. Die Schaltung ist im linken Teile der Figur dargestellt. Zwei 40-zellige Kupferbatterien liefern 0,056 A; die Ladezeiten der einzelnen Sammlergruppen betragen in der Reihenfolge von oben nach unten: $3^1/_2 + 4^1/_2 + 13 = 21$ Stunden und $12 + 6 + 3^1/_2 = 21^1/_2$ Stunden. Die Betriebsweise ist nicht mehr eine Parallelschaltung, sondern nähert sich dem Ladebetriebe. Die Ersparnis an Zellen beträgt $156 - 80 = 76$ Stück.

Die Ladestromstärken werden an dauernd eingeschalteten Strommessern mit einem Meßbereich von 0 bis 0,1 oder 0,2 A abgelesen. Zur Spannungsmessung dient ein Instrument mit Stöpselschnur. Die Pole jeder Sammlergruppe sind an Klemmen angeschlossen, auf die der Stöpsel des Spannungsmessers gedrückt wird. Die Instrumente und Schalter sind auf Holzbrettern angebracht, da diese Schaltungseinrichtungen nicht zu den Starkstromanlagen gerechnet werden. In der Erdleitung der Batterie liegt ein Relais, das bei Überschreitung einer bestimmten Stromstärke anspricht, z. B. wenn Erdschlüsse auftreten, und dadurch einen Wecker einschaltet. Damit der Widerstand der Erdleitung nicht wesentlich erhöht wird, darf das Relais höchstens 0,5 Ohm haben.

b) **Mikrophonbatterien.** Das Zusammenarbeiten von Primärbatterien und Sammlern ist bereits früher besprochen worden. Diese Betriebsweise ist nach der Übersicht der Betriebsverhältnisse und Kosten von Elementen (vierte Ausschlagtafel) vorteilhafter als die Ladung von Mikrophonsammlern aus einem Starkstromnetz, wenn dabei mehr als 94 Proz. der Netzspannung in Widerständen vernichtet werden müßten. Sind aber außer den Mikrophonbatterien noch andere Gruppen zu laden, so wird stets der Netzstrom billiger. Im ersten Abschnitt a. S. 21 ist der tägliche Bedarf von 13 Amtsmikrophonen auf 20 A S und die höchste Stromstärke auf 2 A berechnet worden. Nimmt man dazu 50 Proz. Stromverlust in der Sammlerbatterie an, so haben die Kupferelemente dauernd 30/24 = 1,3 A zu liefern. Es sind 1,3/0,06 = 22 Reihen parallel zu schalten. Jede Reihe muß bei 8 Ohm Zellenwiderstand vier Elemente enthalten, so daß die Gesamtzahl 88 beträgt. Wenn statt des Quersammlers ein Kupferoxydelement mit sehr geringer Kapazität benutzt wird, muß die Kupferbatterie die höchste Stromstärke von 2 A liefern können und deshalb 2/0,06 = 33 Reihen haben. Bei Benutzung von Einzelbatterien für die 13 Mikrophone wären 10 × 13 = 130 Elemente nötig, wenn keine Querbatterie benutzt wird.

c) **Schlußzeichenbatterien.** Noch mehr zeigt sich der Vorteil der Parallelschaltung von Sammlerbatterien im reinen Arbeitsstrombetriebe, wie ihn die Schlußzeichenstromkreise kleiner Ämter haben. Besonders tritt dies im Ortsverkehr in die Erscheinung, wo der tägliche Strombedarf außerordentlich gering und die zu liefernde höchste Stromstärke verhältnismäßig groß ist. Aber auch für den Verbindungsleitungsverkehr bietet eine parallel geschaltete Sammlerbatterie Vorteile. Im ersten Abschnitt ist der tägliche Gesamtverbrauch der 6-voltigen Schlußzeichenbatterie einer Einrichtung nach Modell 02 mit 1,7 A S und die höchste Batteriebelastung mit 0,4 A angegeben. Für diesen Bedarf sind, wenn eine Schwankung der Batteriespannung bis zu 50 Proz. zugelassen wird, 0,4/0,06 = 7 parallel geschaltete Reihen von je sechs Kupferelementen nötig. Nach der Zuschaltung von drei Sammlern hat die Primärbatterie nur den durchschnittlichen Bedarf von $(1{,}7 + 1{,}7 \times 0{,}5)/24 = 0{,}11$ A zu liefern und braucht nur aus zwei Reihen von $3 \times 4 = 12$ Zellen zu bestehen. Außerdem fallen die Spannungsschwankungen gänzlich fort.

Für die besondere 6-voltige Batterie der abgehenden Verbindungsleitungen waren in dem Beispiele 1,9 A S und 0,37 A berechnet worden. Eine Kupfer-

batterie mit 50 Proz. Spannungsschwankung würde 0,37/0,06 = 6 Reihen von je sechs Zellen enthalten müssen. Die parallel geschaltete Sammlerbatterie vermindert den Bedarf auf (1,9 + 1,9 × 0,5)/24 × 0,06 = 2 Reihen von 12 Zellen und verhütet zugleich jede merkliche Spannungsschwankung.

Sehr günstig gestaltet sich die Parallelschaltung von Primärelementen und Sammlern bei kleinen Fernämtern mit Lokalbatteriebetrieb und Signalglühlampen. Man kann für 500 Gespräche täglich einen Stromverbrauch von 0,12 AS und für fünf gleichzeitig glühende 10-voltige Lampen eine höchste Stromstärke von 5 × 0,14 = 0,7 A rechnen (vgl. S. 22). Bei Parallelschaltung von fünf Sammlern mit ganz geringer Kapazität sind dauernd nur (0,12 + 0,12 × 0,5)/24 = 0,008 A zu liefern, die aus jeder anderen Batterie nebenher bezogen werden können.

Wenn beim Amte noch andere Sammler vorhanden sind, die aus dem Netze geladen werden, empfiehlt sich dasselbe Verfahren auch für die Schlußzeichensammler.

d) Klappenschränke Z. B. 08. Für eine Teilnehmerhauptstelle mit 150 Nebenstellen ist ein täglicher Stromverbrauch von 2 AS und eine höchste Stromstärke von 1,4 A berechnet worden. Wird der Strom aus einer Kupferbatterie entnommen, so muß sie bei 10 V EMK und 5 V niedrigster Klemmenspannung 1,4/0,06 = 23 Reihen von je zehn Elementen haben. Bei Parallelschaltung von fünf Sammlern mit einer gleichbleibenden Spannung von 10 V sind nur 3/24 = 0,13 A dauernd zu liefern, mithin zwei Reihen von je 5 × 4,2 = 21 Zellen nötig. Die Unterhaltung der Stromversorgungsanlagen bei Hauptstellen ist schwierig, wenn sie weit vom Amte entfernt sind. Im folgenden Teile sind mehrere Arten der Speisung im Zusammenhange erörtert.

3. Ladung von Sammlern mit Dynamostrom.

a) Telegraphenbatterien.

α) Betriebsverhältnisse. Bei den gebräuchlichsten Schaltungseinrichtungen für Sammlerbetrieb werden die Batterien während der Ladung von den Betriebszuleitungen abgeschaltet. Für den Wechsel sind Umschalter mit einer Betriebs- und einer Ladestellung erforderlich. Zuweilen haben sie auch noch eine Ruhestellung. In der Regel werden dazu Hebel-, Kurbel-, Stöpsel- oder Walzenumschalter verwendet. Von diesen gestatten die Hebelumschalter nur den Wechsel zwischen zwei verschiedenen Stellungen, während Walzenumschalter meist drei und Kurbelumschalter bis zu fünf Stellungen haben. Die Stöpselumschalter ermöglichen jeden beliebigen Wechsel.

Bei der Ladung von Telegraphenbatterien ist auf die besonderen Stromverhältnisse der Leitungen Rücksicht zu nehmen. Für lange Leitungen mit großem Widerstand sind 200 und mehr Volt Batteriespannung erforderlich, während für kurze Leitungen oft 20 oder 10 V ausreichen. Wird eine gemeinschaftliche Batterie benutzt, so sind die unteren Batteriegruppen besonders stark belastet, wie in Fig. 107 a. S. 139 veranschaulicht ist. Der Unterschied wird besonders groß, wenn die beim Amte endigenden Ruhestromleitungen, die sehr viel Strom verbrauchen, aus den unteren Gruppen der Batterie mit-

gespeist werden. Der Stromverbrauch eines größeren Telegraphenamts ist für die einzelnen Batteriegruppen in folgender Tabelle berechnet.

Stromverbrauch eines größeren Telegraphenamts.

Nr. der fünfzelligen Batteriegruppen	Spannungsstufe Volt	Täglicher Stromverbrauch AS		Entladedauer der Gruppe (Kapazität 14 AS) Tage	
1	+ 20	5,3		2	
2	+ 10	13,6		1	
		Erdleitung			
3	— 10	12,7		1	
4	— 20	7,8		1	
5	— 30	3,5		4	
6	— 40	2,5		5	
7	— 50	1,8	durchschnittlich 1,4	7	durchschnittlich 10
8	— 60	1,6		8	
9	— 70	1,5		9	
10	— 80	1,3		10	
11	— 90	1,0		14	
12	— 100	1,0		14	
13	— 110	0,92	durchschnittlich 0,4	Zur Vermeidung von Sulfatbildungen alle 14 Tage zu laden	
14	— 120	0,92			
15	— 130	0,64			
16	— 140	0,64			
17	— 150	0,20			
18	— 160	0,20			
19	— 170	0,20			
20	— 180	0,20			
21	— 190	0,16			
22	— 200	0,16			

Zur Ladung täglich erforderlich 58 AS
mit einem Zuschlag von 20 Proz. = 12
zusammen 70 AS bei 10 V

Dem täglichen Stromverbrauch jeder Gruppe ist 1 Proz. der Kapazität = 0,14 AS für die Selbstentladung der Sammler hinzugerechnet. In der letzten Spalte ist angegeben, wie lange die einzelnen Gruppen Strom liefern können, bevor sie wieder zu laden sind. Es ergibt sich daraus, daß die untersten Gruppen täglich geladen werden müssen, während die oberen in 14 Tagen nur eine geringe Strommenge abgeben.

Durch diese Verschiedenheiten wird die unmittelbare Aufladung der Batterie aus einem Gleichstromnetz erschwert. Wenn das Netz 110 V Spannung führt, so werden meist 40 Zellen in Hintereinanderschaltung geladen. Ihre Gegenspannung beträgt am Ende der Ladung bei ermäßigtem Strom 40 × 2,6 = 104 V, so daß die Netzspannung gut ausgenutzt wird. Nun ist aber die Ladezeit der Gruppen entsprechend ihrer ungleichen Belastung sehr verschieden. Während 10 oder 20 Zellen einer längeren Ladung

bedürfen, muß die Mehrzahl bald abgeschaltet und durch Widerstände im Ladekreise ersetzt werden. Für das angenommene Beispiel ergeben sich in der Voraussetzung, daß **ein** Ladekreis für alle Gruppen genügt, die Verhältnisse der nachstehenden Berechnung entsprechend:

Täglich gleichzeitig zu laden:

Gruppe Nr.	Mit Amperestunden (20 Proz. Zuschlag)	Ladezeit bei 2,5 A Ladestrom Stunden	Zellenzahl
2	16,3	6,5	5
3	15,2	6,1	5
4	9,4	3,8	5
1 (2-täg.) oder 5 (4-täg.) oder 6 (4-täg.)	12,7 / 16,8 / 12,0 } durchschnittlich 14	5,1 / 6,7 / 4,8 } durchschnittlich 5,5	5
eine der 6 Gruppen 7 bis 12	durchschnittlich 16,8	durchschnittlich 6,7	5
eine der 10 Gruppen 13 bis 22	durchschnittlich 6,7	durchschnittlich 2,7	5

Zu laden 2,7 Stunden lang 30 Zellen
" " 3,8 " " 25 "
" " rund 6 bis 7 " " 20 "

Während vier Gruppen mit zusammen 20 Zellen sechs bis sieben Stunden unter Ladung stehen müssen, haben zwei Gruppen nur etwa drei Stunden Ladezeit; manche Gruppen sind noch schneller vollgeladen. Die gesamte Energielieferung des Netzes beträgt bei 2,5 A Ladestrom $2,5 \times 110 \times 7 = 1925$ WS. Davon werden nach der Aufstellung über den Strombedarf verbraucht 70 AS in 10-voltigen Gruppen, mithin 700 WS. Der Wirkungsgrad der Anlage einschließlich der Spannungs- und Sammlerverluste ist danach $700/1925 = 36$ Proz. Im Betriebe ermäßigt er sich auf 10 bis 20 Proz., weil die Einschaltung aller Gruppen in **einen** Ladekreis Schwierigkeiten begegnet. Noch ungünstiger würde das Verhältnis bei 220 V Netzspannung werden.

Wenn bei solchem Verfahren die Stromkosten zu hoch werden, so empfiehlt sich die Aufstellung eines Maschinensatzes. Eine bedeutende Verbesserung des Wirkungsgrades läßt sich auch dadurch herbeiführen, daß die Batteriegruppen im Betriebe miteinander vertauscht werden, um ihre gleichmäßige Entladung zu erzielen.

In Wechsel- oder Drehstromnetzen **muß** zur Sammlerladung ein Motor-Generator oder eine Gleichrichteranlage, die etwa denselben Wirkungsgrad hat, benutzt werden.

β) Ladekreise.

Netzladung. Im linken Teile der **Fig. 111** ist ein Ladekreis von der üblichen Anordnung für unmittelbare Benutzung eines Gleichstromnetzes angegeben. Er enthält doppelpolige Sicherungen, einen doppelpoligen Schalter, einen Selbstschalter (mit Quecksilberkontakten), einen Regulierwiderstand und einen Strommesser A oder den Nebenschluß eines Strommessers mit Zuleitungen

zu einem Sparschalter. Der Regulierwiderstand wird so bemessen, daß eine gleichmäßige Einstellung der Stromstärke bei kleinen Schwankungen der Netzspannung oder beim Wachsen der Sammlerspannung möglich ist. Hat man eine Netzspannung von 110 V, die zuweilen bis 112 V steigt, so müssen bei der Ladung von 40 Sammlern anfänglich 112 — (40 × 2) = 32 V vernichtet werden. Dazu ist bei 2,5 A Stromstärke ein Widerstand von 32/2,5 = 13 Ohm erforderlich. Im Verlaufe der Hauptladung steigt die Sammlerspannung bis auf 40 × 2,7 = 108 V. Der Widerstand muß also allmählich fast bis zum letzten Rest ausgeschaltet werden. Bei der Nachladung mit halber Stromstärke möge die Zellenspannung bis auf 2,6 V steigen. Der

Fig. 111.

Ladekreise für Netzladung und Batterieumschalter mit Kurbel- und Stöpselschaltern.

Widerstandswert beträgt dann höchstens (112 — 40 × 2,6)/1,25 = 6 Ohm. Danach muß der Wert des Regulierwiderstandes auf 0 bis 13 Ohm eingestellt werden können. Da bei Beginn der Ladung die Zellenspannung sehr schnell auf 2,2 V steigt, genügt allenfalls auch ein Höchstwert von (112 — 40 × 2,2)/2,5 = 10 Ohm.

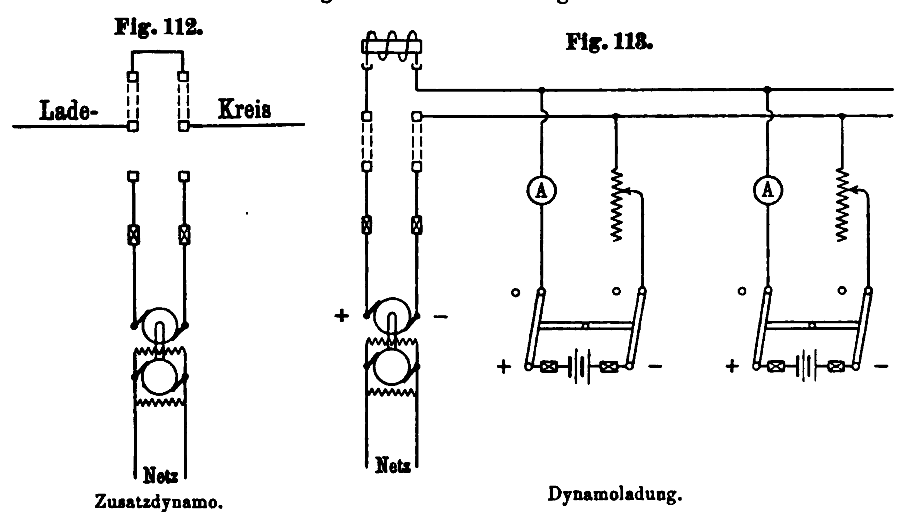
Bei Netzen mit 220 V Gleichstrom und Ladung von 80 Zellen verdoppeln sich die Widerstandswerte.

Zusatzdynamo. Statt die überschüssige Netzspannung im Anfang der Ladung durch Widerstände zu vernichten, kann man die Zahl der Zellen um den vierten Teil vermehren und die zum Schluß fehlende Spannung durch einen aus dem Netz angetriebenen Maschinensatz hinzufügen lassen. Die Zusatzdynamo (**Fig. 112**) wird in den Ladekreis mit Hilfe eines Umschalters eingeschaltet. Eine erhebliche Verbesserung des Wirkungsgrades wird durch

die Einrichtung aber nicht erreicht. Für eine Anlage in München [1]) werden 25 Proz. angegeben. Dort war die Zusatzeinrichtung deshalb erwünscht, weil sonst die 200-voltige Batterie nicht hätte aus dem Netze geladen werden können.

Dynamoladung. Die Motor-Generatoren liefern in der Regel 30 V Spannung, die zur Ladung von zehn Zellen geeignet ist. Die Gegenspannung der Sammler steigt am Ende der Ladung bis auf höchstens 28 V. Die Maschine ist an ein Paar Speiseleitungen angeschlossen, mit denen die zehnzelligen Gruppen in Parallelschaltung verbunden werden (**Fig. 113**). Der Hauptstromkreis enthält die Dynamosicherungen, den Dynamoschalter und den Selbstschalter; die Widerstände und Strommesser werden in die Einzelkreise verlegt. Die Größe des Regulierwiderstandes muß $(30 - 10 \times 2)/2{,}5 = 4$ Ohm betragen.

Für Gleichrichteranlagen ist die Anordnung dieselbe.



Zusatzdynamo.

Dynamoladung.

γ) **Einfache Batterieumschalter.**

Kurbel-, Hebel- und Stöpselumschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung. Fig. 111 auf S. 150 enthält das Muster eines Batterieladeumschalters älterer Art der Reichs-Telegraphenverwaltung. Der Übersichtlichkeit halber sind nur so viel Zellen aufgenommen, wie in einem Ladekreise mit 110 V Netzspannung geladen werden können, nämlich drei Gruppen mit zehn Zellen und zwei Gruppen mit fünf Zellen. Die Batterien sind mit Kurbel- oder Hebelumschaltern verbunden und können durch diese entweder auf den Ladekreis oder auf die Betriebszuleitungen geschaltet werden. Während der Ladung werden sie durch die in der Fig. 111 unten angegebenen Aushilfsbatterien ersetzt. Dies geschieht mit Hilfe der in den Betriebszuleitungen liegenden Klinken, deren Federn durch Einsetzen eines Stöpsels von der gewöhnlichen Betriebsbatterie getrennt und mit der Aushilfsbatterie verbunden werden. Zur Vermeidung von Verwechslungen haben die Klinken und Stöpselstifte bei den zehnzelligen Gruppen einen größeren Abstand als bei den fünfzelligen. Durch einen Umschalter lassen sich die beiden

[1]) E. T. Z. 1905, S. 790.

fünfzelligen Aushilfsgruppen auch zu einer zehnzelligen mit besonderem Stöpsel vereinigen.

Die Aushilfsbatterien können für mehrere Ladekreise nacheinander benutzt werden. Zu ihrer Aufladung dient ein besonderer Ladekreis (II), auf den sie durch Kurbel- oder Hebelschalter umgeschaltet werden.

Die beiden Ladekreise der Fig. 111 stellen verschiedene Muster für die Ersetzung der vollgeladenen Gruppen durch Widerstände dar. Bei der Abschaltung einer Gruppe fällt ihre Gegenspannung im Ladekreise fort. Es muß daher ein entsprechender Betrag der Netzspannung in Widerständen vernichtet werden. Dazu schaltet man, um eine erhebliche Vergrößerung des Regulierwiderstandes zu vermeiden, passende feste Widerstände in den Ladekreis ein. Ihr Wert muß bei fünfzelligen Gruppen $5 \times 2{,}7/2{,}5$ = rund 5 Ohm und bei zehnzelligen 10 Ohm betragen. Im oberen Ladekreise werden die Ersatzwiderstände mit Hilfe der Kurbel K eingeschaltet. Sie steht zu Beginn der Ladung auf dem untersten Kontakt und wird, sobald die oberen, schwach beanspruchten Batteriegruppen vollgeladen sind, weiter nach oben gedreht, bis zuletzt nur noch fünf Zellen unter Vorschaltung von 35 Ohm auf Ladung stehen. Im zweiten Ladekreise erfolgt die Einschaltung der Ersatzwiderstände selbsttätig durch Umlegen der Schalter aus der Lade- in die Betriebsstellung (rechts).

Bei der Ladung mit einer Dynamo sind ähnliche Einrichtungen nur erforderlich, wenn z. B. zwei fünfzellige Gruppen in Hintereinanderschaltung mit 30 V geladen werden sollen. Die zehnzelligen Gruppen liegen parallel im Ladekreise und werden unabhängig voneinander geladen. Ein Zusammenhang zwischen den Einzelkreisen besteht jedoch insofern, als jede Abschaltung die Gesamtstromstärke vermindert und damit die Maschinenspannung erhöht. Daher muß vor der Ausschaltung einer Gruppe die Maschinenspannung entsprechend herunterreguliert werden. Auch die Veränderung des Regulierwiderstandes in einem Einzelkreise hat Einfluß auf die anderen, weil dadurch die Verhältnisse der Stromverzweigung geändert werden. Infolgedessen macht die Regulierung eines Kreises auch in allen übrigen eine Neueinstellung notwendig.

Walzenumschalter des H. T. A. Berlin. Beim Haupttelegraphenamt in Berlin ist eine Zeitlang ein Walzenumschalter, der durch einfaches Drehen die Umschaltung der Batterien vom Betrieb auf Ladung und zugleich ihre Ersetzung durch eine Aushilfsgruppe bewirkte, in Gebrauch gewesen[1]). Die Batterie bestand aus drei 40-zelligen Gruppen, von denen Nr. I den Strom für die Spannungsstufen 20, 40, 60 und 80 V, und Nr. III für die Stufen 100, 120, 140 und 160 V lieferte, während Nr. II die beiden anderen ersetzte, wenn sie geladen wurden. Ein Teil der Einrichtung mit den untersten zehn Zellen jeder Gruppe ist in **Fig. 114** dargestellt. Die Pole von je zehn Zellen sind mit Kontaktfedern verbunden, ebenso die Betriebs- und die Ladeleitungen. Die Schaltverbindungen zwischen den Federn werden durch Kontaktstücke hergestellt, die sich auf dem Umfange einer Hartgummiwalze befinden und beim Drehen der Walze zwischen die Federn schieben. Die Fig. 114 enthält die aufgerollte Fläche des Walzenmantels. Die Walze kann die in der Zeich-

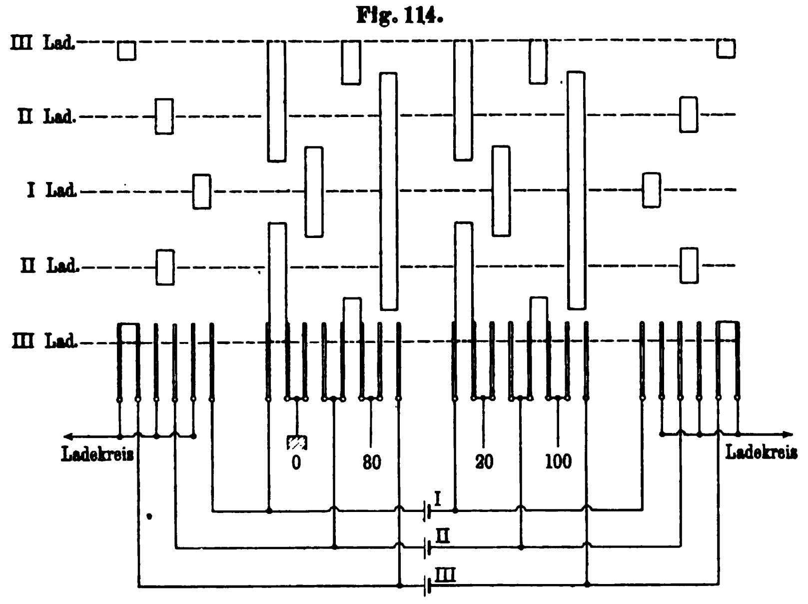
[1]) E. T. Z. 1890, S. 630.



nung durch punktierte Linien gekennzeichneten Stellungen einnehmen. In jeder steht eine Batterie zur Ladung bereit, während die beiden anderen den Betrieb versorgen.

Walzenumschalter des H. T. A. Paris. **Fig. 115** enthält den Batterieumschalter des Haupttelegraphenamts in Paris[1]). Er dient zur Umschaltung von sechs 60-zelligen Batterien mit 36 bis 72 AS Kapazität. Davon sind drei für positive und drei für negative Spannungen bestimmt. Im Betriebe befindet sich aber immer nur eine positive und eine negative Batterie, während ein zweiter Satz geladen werden kann und ein dritter betriebsfertig bereitsteht. Die höchste Stromstärke der Batterie beträgt 4 A. Bei einem Durchschnittsstrom von 1,5 A werden in 24 Stunden 36 AS verbraucht. Jede

Fig. 114.



Früherer Walzenumschalter des Haupttelegraphenamts Berlin (Teil).

60-zellige Batterie hat einen Walzenumschalter, durch den sie in die Betriebs-, Lade- oder Ruhestellung gebracht werden kann. Die Fig. 115 zeigt im oberen Teile die Verbindungen des Walzenumschalters einer positiven Batterie in der Betriebsstellung. Das doppelt umrahmte Rechteck deutet die Walze an. In die Oberfläche eines Zylinders aus Isoliermaterial sind Metallplättchen eingelassen, auf denen die seitlich stehenden, durch kleine Kreise bezeichneten Kontaktfedern schleifen. Links sind die Zuleitungen der Batterie und der Lademaschine angelegt, rechts die Betriebszuführungen. Die einzelnen Abzweigungen der Batterie sind durch Vermittelung der Federn und Metallplättchen mit den Betriebsleitungen verbunden. Die drei Hauptabteilungen der Batterie sind hintereinander geschaltet. In der Ladestellung werden die mit $+D$ und $-D$ bezeichneten Dynamozuleitungen durch die darunterliegenden Federn an die Endpole einer 20-zelligen Batterieabteilung an-

[1]) E. T. Z. 1897, S. 158.

geschlossen. Die Abzweigungen der Unterabteilungen sind dann isoliert. Die drei 20-zelligen Gruppen werden in Parallelschaltung aus einer Dynamo mit 70 V geladen. Zur Vernichtung der überschüssigen Spannung enthält auch der Hauptladekreis einen Regulierwiderstand. In der Ruhestellung sind sämtliche Batterieleitungen isoliert.

Fig. 115.

δ) **Einrichtungen zur Vertauschung der Batterien im Betriebe.**

H. T. A. Paris. Die im mittleren Teile der Fig. 115 in die Batteriezuleitungen des H. T. A. Paris eingezeichneten Kurbelumschalter ermöglichen eine Vertauschung und damit gleichmäßigere Entladung der drei Hauptabteilungen einer Batterie. Bei der dargestellten Anordnung mit links gestellten Kurbeln liegt die erste Gruppe auf den untersten, die zweite auf den mittleren und die dritte auf den obersten Spannungsstufen. Die Reihenfolge der Abteilungen ist bei der Mittelstellung der Kurbeln 2, 3, 1 und bei

der Rechtsstellung 3, 2, 1. Auf diese Weise werden die Batterieabteilungen gleichmäßig für die Hauptspannungsstufen, von denen die unterste 350 Leitungen, die mittlere 150 Leitungen und die oberste 50 Leitungen speist, benutzt. Innerhalb der 20-zelligen Gruppen bestehen dabei immerhin noch verschiedene Belastungen, da in jeder Abteilung die Stromstärke nach unten hin zunimmt.

Stöpselschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung. In derselben Weise läßt sich die Vertauschung der Batterien mit den Stöpselschaltern der Reichs-Telegraphenverwaltung [1]) ausführen. Für die auf S. 148 angegebenen Belastungsverhältnisse stellt **Fig. 116** eine auf einem Schaltbrett vereinigte Lade- und Umschalteinrichtung dar. Von den Klinken sind der Übersichtlichkeit halber nicht die kontaktmachenden Federn, sondern die Führungsfutter gezeichnet. Die oberste Klinkenreihe dient zur Ladung der Batterien aus einem Starkstromnetz mit 110 V Gleichstrom. Der Ladekreis enthält einen einpoligen Hebelschalter, einen Selbstschalter, einen Schieberwiderstand und einen Strommesser. Die Verbindung der fünfzelligen Batteriegruppen mit dem Ladekreise geschieht durch Einsetzen von acht Batteriestöpseln in die oberste Klinkenreihe. Damit auch weniger als 40 Zellen geladen werden können, sind einige von den Ladeklinken mit Überbrückungswiderständen ausgerüstet, die beim Einsetzen von Stöpseln selbsttätig abgetrennt werden. In der Fig. 116 sind die Widerstände fortgelassen. Die drei unteren Klinkenreihen sind für die Betriebsbatterien bestimmt und werden dauernd besetzt gehalten. Auf den untersten Spannungsstufen + 10 und — 10 V liegen je zwei parallel geschaltete Batterien. Dadurch werden besonders große Unterschiede in der Belastung der unteren Gruppen ausgeglichen und die Stufen mit starkem Stromverbrauch vermehrt. Zu jedem Klinkenpaar ist ein zweites parallel geschaltet. Dieses wird, wenn eine Gruppe abgeschaltet werden soll, zuvor mit einer anderen besetzt, damit keine Unterbrechung des Betriebsstromes eintritt. Ferner ermöglicht dieses zweite Klinkenpaar die Prüfung der Batteriespannung durch Einsetzen des Voltmeterstöpsels.

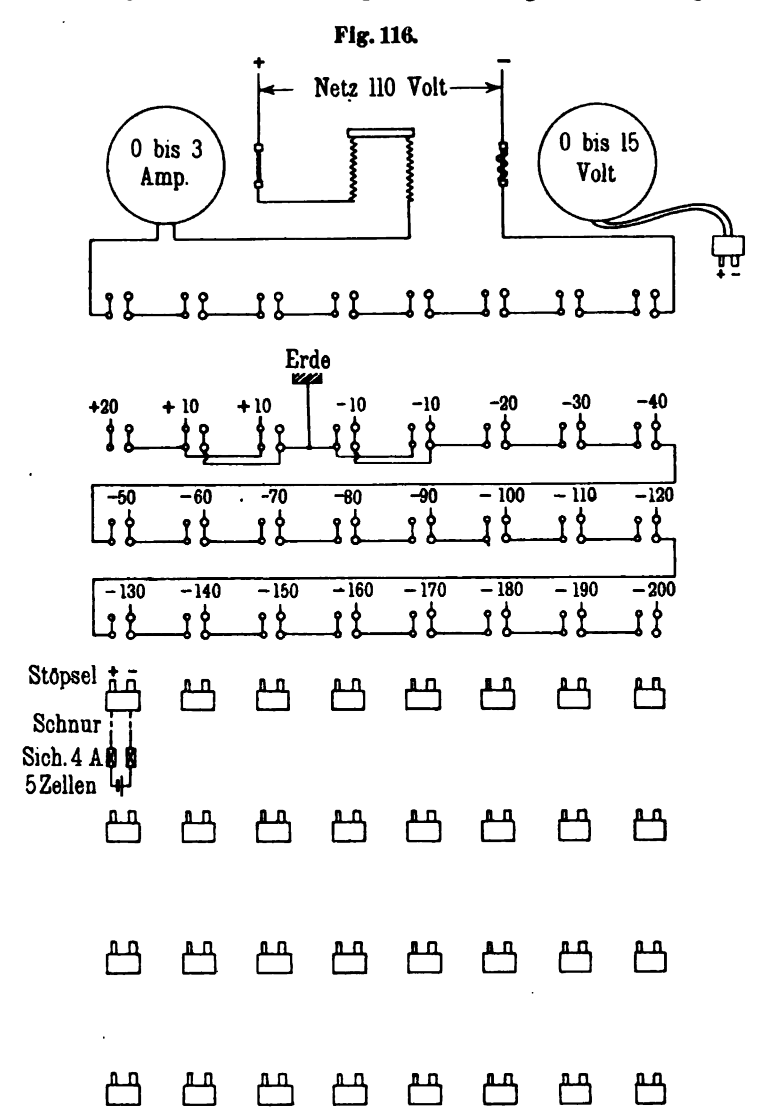
Die Vertauschung der Batteriegruppen, die eine gleichmäßige Entladung im Betriebe herbeiführen soll, läßt sich in beliebiger Weise ausführen, da alle Gruppen fünf Zellen enthalten und die Stöpselschalter jede Änderung gestatten. Man könnte daher daran denken, den Wechsel so auszuführen, daß alle Batterien vollkommen gleichmäßig entladen werden. Dem stehen aber zweierlei Bedenken entgegen. Einerseits wäre die Umschaltung wenig übersichtlich und erforderte die Aufstellung und Beachtung eines besonderen Umschalteplans; andererseits würden die Schnüre leicht in Verwirrung geraten, wenn ihre Reihenfolge wechselte. Es ist deshalb zweckmäßig, sich bei dieser Einrichtung mit einer einfachen Vertauschung größerer Abteilungen nach dem Pariser Muster zu begnügen.

Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit trägt es wesentlich bei, wenn die Betriebsklinken so angeordnet werden, daß die Stöpsel mehrere unveränderliche Reihen bilden. Man würde dabei die Stöpsel auch starr verbinden oder große Stöpsel mit zahlreichen Stiften verwenden können. Die Anordnung

[1]) E. T. Z. 1906, S. 919.

der Reihen richtet sich nach der Zahl der gleichzeitig zu ladenden Sammler. Im vorliegenden Beispiel muß jede Reihe acht Stöpsel mit 8 × 5 = 40 Zellen umfassen, damit die Netzspannung von 110 V ausgenutzt werden kann. Die Umschaltung vollzieht sich in folgender Ordnung. Die frisch geladenen

Fig. 116.



acht Batterien werden auf die Doppelklinken der Spannungsstufen — 130 bis — 200 geschaltet. Die dort frei werdenden Gruppen rücken um eine Reihe höher und verschieben dadurch auch die beiden obersten Reihen nach oben. Die letzte Reihe gelangt dabei auf den Ladekreis. Jede Batteriegruppe liefert daher im Betriebe zuerst Strom für eine der oberen, dann für eine der mittleren und zuletzt für eine der unteren Spannungsstufen. Bei diesem

Kreislauf ist die Stromentnahme der einzelnen Gruppen nach dem auf S. 148 angegebenen Stromverbrauch folgende:

	Fünfzellige Gruppe Nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Tag	0,64	0,64	0,20	0,20	0,20	0,20	0,16	0,16
2. Tag	1,80	1,60	1,50	1,30	1,00	1,00	0,92	0,92
3. Tag	5,30	6,80	6,80	6,35	6,35	7,80	3,50	2,50
Zusammen . .	7,74	9,04	8,50	7,85	7,55	9,00	4,58	3,58

Es ergibt sich, daß die Belastung der Gruppen gleichmäßiger geworden ist. Dadurch wird eine bedeutende Verkürzung der Ladezeit erreicht. Die Stromentnahme beträgt im äußersten Falle 9,04 AS. Die Ladung dauert mithin $(9{,}04 + 9{,}04 \times 0{,}20)/2{,}5 = 4{,}3$ Stunden, während für eine Einrichtung ohne Umschaltung 6,7 Stunden berechnet waren. Der Wirkungsgrad ist daher wesentlich günstiger; er beträgt $70 \times 10/4{,}3 \times 110 \times 2{,}5 = 60$ Proz. Auch die Wartungskosten sind entsprechend geringer.

Bei einer Netzspannung von 220 V würde jede Reihe 80 Zellen enthalten müssen. Um eine gleichmäßigere Entladung zu erzielen, wird man nicht nur reihenweise vorrücken, sondern am nächsten Tage die Reihen so herumschwenken, daß ihre Enden vertauscht werden. Das Vorrücken würde nur alle zwei Tage erfolgen. Dabei tritt die folgende Stromentnahme ein:

	Fünfzellige Gruppe Nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Tag	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
2. Tag . . . . (Umkehrung)	0,64	0,64	0,20	0,20	0,20	0,20	0,16	0,16
3. Tag	0,92	0,92	1,00	1,00	1,30	1,50	1,60	1,80
4. Tag . . . . (Umkehrung)	5,30	6,80	6,80	6,35	6,35	7,80	3,50	2,50
Zusammen . .	7,00	8,50	8,14	7,69	7,99	9,64	5,40	4,60

	Fünfzellige Gruppe Nr.							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Tag	0,16	0,16	0,20	0,20	0,20	0,20	0,64	0,64
2. Tag . . . . (Umkehrung)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
3. Tag	2,50	3,50	7,80	6,35	6,35	6,80	6,80	5,30
4. Tag . . . . (Umkehrung)	1,80	1,60	1,50	1,30	1,00	1,00	0,92	0,92
Zusammen . .	4,60	5,40	9,64	7,99	7,69	8,14	8,50	7,00

Bei den freien Gruppen sind täglich 0,14 AS für Selbstentladung gerechnet.

Der größte Verbrauch beträgt 9,64 AS und die längste Ladezeit $(9{,}64 + 9{,}64 \times 0{,}2)/2{,}5 = 4{,}6$ Stunden bei zweitägigem Ladebetriebe. Der

Wirkungsgrad ist derselbe wie bei 110-voltigem Ladenetz. Die Wartungskosten sind noch geringer.

Anlage in Stuttgart. Beim Haupttelegraphenamt in Stuttgart[1]) besteht die Batterie aus: 1) $5 \times 5 = 25$ Zellen von 90 AS für die Spannungen + 10, + 20, + 30, + 40 und + 50 V; 2) $4 \times 9 = 36$ Zellen von 15 AS für die Spannungen + 68, + 86, + 104 und + 122 V; 3) $6 \times 5 = 30$ Zellen von 6 AS für die Spannungen —20, — 40, — 60, — 80, — 100 und — 120 V. Die Abteilungen 1 und 2 speisen etwa 70 Leitungen, von denen zwei Drittel Ruhestromleitungen sind. Diese verbrauchen dauernd rund 1 A Strom und in 24 Stunden 24 AS. Die Batterie 1 muß danach in Zeiträumen von $90/24 = 3$ Tagen geladen werden. Die Abteilung 2, die nur eine geringe Anzahl von Arbeitsstromleitungen versorgt, bedarf nur alle vier Wochen der Aufladung. Noch schwächer wird die dritte Abteilung beansprucht, da sie nur fünf Arbeitsstromleitungen mit negativem Strom speist. In der Mitte

Fig. 117.

der Betriebszeit findet innerhalb der Abteilungen eine Vertauschung der Gruppen in der Weise statt, daß die Batterien der obersten Stufen auf die untersten gelangen.

Für die Umschaltung dienen Quecksilberumschalter. Die Einrichtung der Abteilung 2 ist in **Fig. 117** angedeutet. Die kleinen Kreise N_1, N_2 usw. stellen Hartgumminäpfchen mit Quecksilberfüllung dar. Von unten ragen Eisenstücke, an denen die Zuleitungen endigen, in die Näpfchen hinein. Die Verbindungen werden durch fünf unter einer Holzleiste sitzende Metallbügel mit je drei Zinken, die in die Näpfchen hineintauchen, hergestellt. Die Enden der Holzleiste legen sich in drei Einschnitte von Gummileisten und erhalten dadurch drei Stellungen. Es werden dabei in jeder Reihe folgende Verbindungen hergestellt:

1. B' (Ladestellung): $N_1 N_2 N_3$;
2. B'' (erste Betriebsstellung): $N_2 N_3 N_4$;
3. B''' (zweite Betriebsstellung): $N_4 N_5 N_6$.

Der Ladestrom fließt von der negativen Ladeleitung über $N_1 B' N_2$ der ersten Reihe zur Gruppe V_6, dann über $N_2 B' N_3$ der zweiten Reihe zur

[1]) E. T. Z. 1898, S. 67, 78, 96.



Gruppe V_7 und von dort über $N_2 B' N_1$ der dritten Reihe zum positiven Pol zurück. In ähnlicher Weise gelangt der Strom zu den Gruppen V_8 und V_9, die ebenfalls in Hintereinanderschaltung geladen werden.

In der ersten Betriebsstellung (B'') ist der Stromverlauf: 50 V Reihe 1: $N_4 B'' N_2 V_6$, Reihe 2: $N_2 B'' N_8 V_7$, Reihe 3: $N_2 B' N_4$, Reihe 4: $N_4 B' N_1 V_4$ usw.

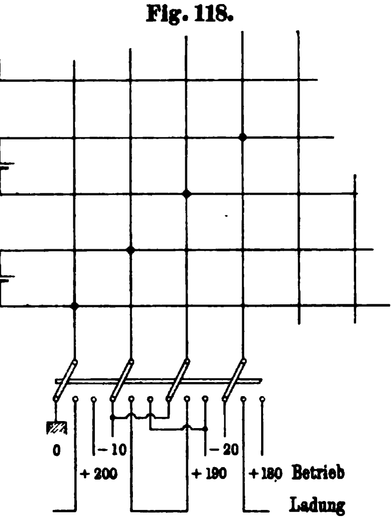
Bei der zweiten Betriebsstellung (B''') ist die Reihenfolge: 50 V Reihe 1: $N_4 B''' N_7 V_9$, Reihe 2: $N_5 B''' N_6 V_8$ usw.

Von N_4 ist immer in der Reihe der hintereinander geschalteten Batterien die Betriebszuleitung abgezweigt.

Bevor der Schalter einer Batterie auf Ladung gestellt wird, muß eine zweite gleichartig eingerichtete Batterie auf die frei werdende Betriebsstellung geschaltet werden. Diese hat ebenfalls einen Quecksilberumschalter. Es sind mithin sechs solcher Schalter erforderlich.

Den Ladestrom liefert eine Dynamo von 60 bis 70 V und 5 bis 6 A. Sie dient zugleich zur Aufladung der Fernsprechbatterien. Angetrieben wird sie durch den Gasmotor der Telegraphenwerkstatt. Die Ladung findet bei der Abteilung 1 in einem Satze von 25 Zellen, bei Abteilung 2 in zwei Sätzen von je 18 Zellen und bei Abteilung 3 in drei Sätzen von je 20 Zellen statt.

Fig. 118.



Umschalteeinrichtung des Telegraphenamts München (Teil).

Anlage in München. Die Anlage des Telegraphenamts in München[1]) gestattet eine weitgehende Vertauschung der Batteriegruppen. Vorhanden sind drei Batterien von je 100 Zellen mit einer Kapazität von 9 AS bei 3 A höchster Stromstärke. Davon liefert eine Batterie positiven und die zweite negativen Strom, während die dritte geladen wird. Wie **Fig. 118** schematisch angibt, sind die Gruppen jeder Batterie über einen Linienumschalter (Gruppenwähler) an einen 21-fachen Kurbelumschalter angeschlossen. Der letztere schaltet die Gruppen in drei Stellungen entweder auf Ladung oder auf die positiven oder negativen Betriebszuleitungen, die zu den Linienumschaltern des Apparatsaales führen. Bei dem Polwechsel wird die ganze Batterie in der Weise verschoben, daß die Zellen von den untersten negativen Spannungsstufen auf die höchsten positiven gelangen und umgekehrt. Der dadurch erzielte Ausgleich wird durch Umschaltungen am Gruppenwähler vervollständigt. Die Vertauschung erhöht den Wirkungsgrad der Anlage von 9 Proz. auf 25 Proz. Allerdings wird die Bedienung der Gruppenwähler große Aufmerksamkeit erfordern.

Kurbelschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung. Eine einfachere Handhabung wird mit den vom Verfasser erdachten Kurbelumschaltern der Reichs-Telegraphenverwaltung[2]) erreicht. Besonders vorteilhaft sind sie

[1]) E. T. Z. 1904, S. 318. — [2]) Ebenda 1906, S. 919.

deshalb, weil sie für verschiedenartige Verhältnisse aus Teilen, die in der Starkstromtechnik gebräuchlich sind und daher niedrige Preise haben, in jeder gewünschten Weise zusammengesetzt werden können.

Eine Anlage für den früher auf S. 148 angegebenen Strombedarf eines größeren Amtes stellt **Fig. 119** dar. Es ist angenommen, daß die Ladespannung 110 V beträgt. Dementsprechend ist die Batterie in vier Gruppen mit je 40 Zellen eingeteilt. Jede Gruppe ist an eine Reihe von Kurbelschaltern mit isolierter Verkupplung angeschlossen. Die Verbindungsstangen werden täglich um einen Kontakt weiter nach links bewegt. Jede Reihe nimmt eine der vier Stellungen ein. Die dritte Reihe befindet sich in der Anfangsstellung; sie gelangt am zweiten Tage auf den zweiten Kontakt und am dritten Tage auf den dritten Kontakt. Dabei wird jede Batteriegruppe auf drei Spannungs-

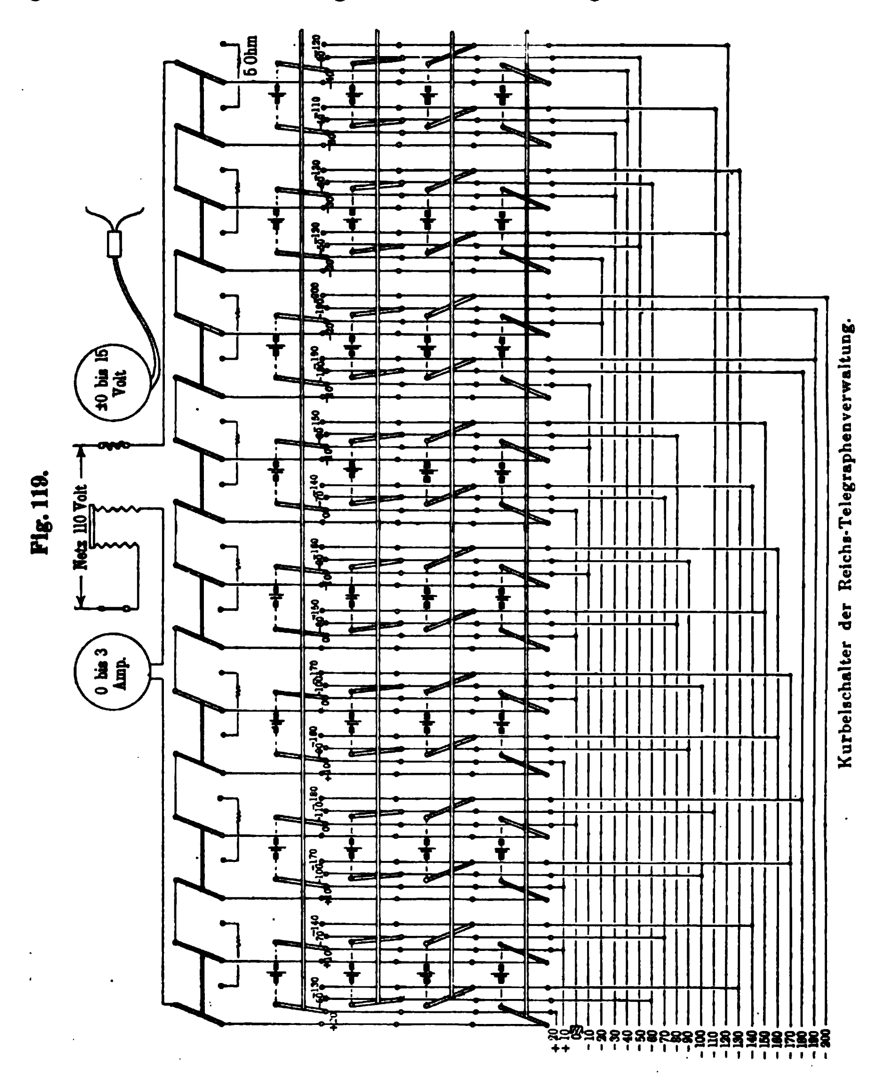


Fig. 119.

stufen benutzt, die so ausgewählt sind, daß alle Gruppen möglichst gleichmäßig entladen werden, und daß die stärkste Stromentnahme im letzten Teile der Benutzung geschieht. Es befindet sich z. B. die erste Batterie am rechten Ende einer Reihe: am ersten Tage zwischen den Betriebszu-

Fig. 120.



leitungen — 110 und — 120, am zweiten zwischen — 40 und — 50 und am dritten zwischen — 30 und — 40. Die stark belasteten Spannungsstufen + 10 und — 10 sind mit zwei Batterien besetzt. Die Stromentnahme der einzelnen Gruppen an den drei Betriebstagen ist umstehend zusammengestellt:

	Fünfzellige Gruppe Nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Tag	0,64	0,20	0,20	0,20	0,20	0,16	0,64	0,92
2. Tag	1,50	0,92	1,00	1,00	1,30	0,16	1,60	1,80
3. Tag	5,30	6,80	6,80	6,35	6,35	7,80	3,50	2,50
Zusammen . .	7,44	7,92	8,00	7,55	7,85	8,12	5,74	5,22

Die Anordnung ist so getroffen, daß die größte Stromentnahme von 8,12 AS den Tagesbedarf der am stärksten belasteten Stufe nicht wesentlich übersteigt. Das Ladegeschäft nimmt 3,9 Stunden in Anspruch, also eine halbe Stunde weniger als bei der Einrichtung mit Stöpselschaltern.

In der vierten Stellung gelangen die Batterien auf den letzten Kontakt, der sie mit dem Ladekreise verbindet. Sobald eine Gruppe vollgeladen ist, wird der zugehörige Ladeschalter nach rechts gestellt und dadurch an Stelle der Batterie ein Ersatzwiderstand eingeschaltet.

Die Spannungsmessung geschieht durch Aufsetzen des Voltmeterstöpsels auf die mit Vertiefungen versehenen Kurbelachsen. Die Bedienung der Anlage ist ungemein einfach. Der Wärter hat nur täglich jede Reihe um einen Kontakt nach links zu bewegen. Bei der Umschaltung muß aber darauf geachtet werden, daß vor dem Weiterschalten einer Reihe zuerst die folgende auf dieselben Leitungen gelegt wird, damit keine Stromunterbrechungen eintreten.

Wenn eine Netzspannung von 220 V zur Verfügung steht, hat jede Abteilung 80 Zellen, mithin 16 fünfzellige Gruppen zu umfassen. Es sind dann nur drei Reihen nötig. Damit sie nicht zu lang werden, bringt man die negativen Kontakte gegenüber den positiven an. Die positiven und die negativen Kurbeln erhalten dann besondere Schubstangen, deren Enden durch ein in der Mitte drehbar befestigtes Verbindungsstück verkuppelt werden. Die Art der Anordnung zeigt **Fig. 120.** Die Weiterbewegung geschieht hier durch eine Schraubenspindel.

Die Verteilung der Stromlieferung kann nach folgendem Muster geschehen:

	Fünfzellige Gruppe Nr.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Tag	0,20	0,14	0,14	0,20	0,16	0,14	0,64	0,92
2. Tag	0,20	0,14	0,14	0,20	0,16	0,14	0,64	0,92
3. Tag	1,50	0,92	1,00	1,00	1,30	0,14	1,60	1,80
4. Tag	5,30	6,80	6,80	6,35	6,35	7,80	3,50	2,50
Zusammen . .	7,20	8,00	8,08	7,75	7,97	8,22	6,38	6,14

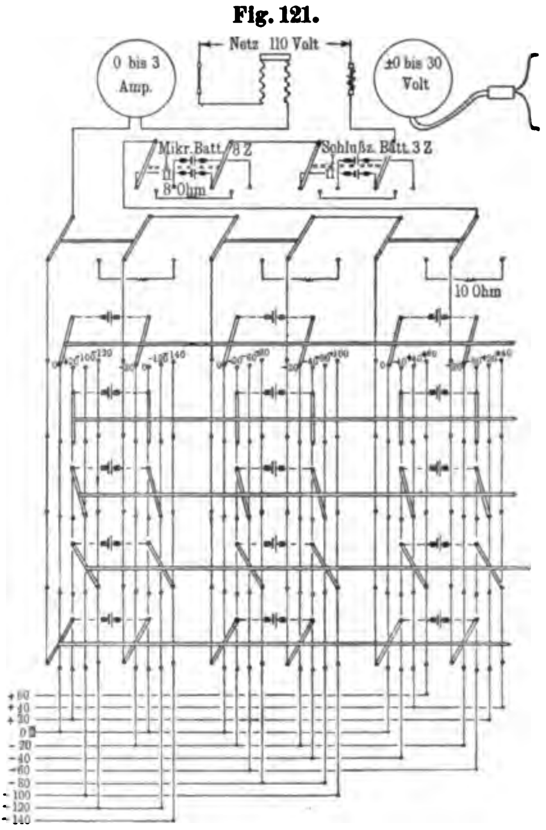
	Fünfzellige Gruppe Nr.							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Tag	0,64	0,20	0,20	0,14	0,16	0,14	0,14	0,14
2. Tag	0,64	0,20	0,20	0,14	0,16	0,14	0,14	0,14
3. Tag	2,50	3,50	5,30	6,35	6,35	6,80	6,80	7,80
4. Tag	1,80	1,60	1,50	1,30	1,00	1,00	0,92	0,14
Zusammen . .	5,58	5,50	7,20	7,93	7,67	8,08	8,00	8,22

Die Reihen bleiben auf dem ersten Kontakt zwei Tage und auf den beiden anderen je einen Tag stehen. Dabei liefern die Gruppen je zwei Tage lang Strom für die oberen und für die unteren Spannungsstufen. Auf den letzteren werden sie zum Ausgleich der wesentlichen Stromunterschiede noch einmal vertauscht.

Eine Ladung findet danach nur jeden zweiten Tag statt. Sie dauert $(8{,}22 + 8{,}22 \times 0{,}2)/2{,}5 = 3{,}9$ Std.

Sowohl bei der Ladung mit 110 V, als auch bei 220 V Spannung liegen die angenommenen Stromverbrauchsverhältnisse insofern ungünstig, als die höchste Stromentnahme bei einem Kreislauf der Batteriegruppen zufällig die Hälfte der Kapazität um einen geringen Betrag übersteigt. Wäre die Belastung ein wenig schwächer, so könnte die Entladezeit in jeder Stellung verdoppelt werden.

Fig. 121.



Kurbelschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung.

Noch größer fallen die Ruhepausen bei **kleinen Ämtern** mit geringem Stromverbrauch aus. Hier läßt sich außerdem die Schalteinrichtung dadurch vereinfachen, daß Batteriegruppen von zehn Zellen und Spannungsstufen

Spannung Volt	Stromverbrauch täglich Amperestunden
+ 60	0,22
+ 40	0,28
+ 20	1,26
Erdleitung	
— 20	4,59
— 40	0,77
— 60	0,71
— 80	0,27
— 100	0,16
— 120	0,16
— 140	0,16

von 20 V gebildet werden. Ein Muster für den täglichen Stromverbrauch eines kleinen Amts gibt vorstehende Zusammenstellung. Für die Selbstentladung der Sammler sind 0,14 AS hinzugerechnet. Die zugehörigen Schalteinrichtungen für die Ladung mit 110 und 220 V stellen die **Fig. 121** und **122** dar. Die Anlage dient zugleich zur Ladung von acht Zellen der Mikro-

Fig. 122.

Kurbelschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung.

phonbatterie und von drei Zellen der Schlußzeichenbatterie eines kleinen Vermittelungsamts. Von der Telegraphenbatterie können deshalb mit 110 V nur noch 30 Zellen und mit 220 V 60 Zellen geladen werden. Die Reihen umfassen daher nur drei und sechs Gruppen. Die besonders stark beanspruchte Stufe von — 20 ist dreifach besetzt. Bei täglichem Wechsel würde der Stromverbrauch betragen:

Ladung mit 110 V.

	Zehnzellige Gruppe Nr.		
	1	2	3
1. Tag	0,16	0,16	0,22
2. Tag	0,16	0,27	0,28
3. Tag	1,26	0,77	0,71
4. Tag	1,53	1,53	1,53
Zusammen . .	3,11	2,73	2,74

Ladung mit 220 V.

	Zehnzellige Gruppe Nr.					
	1	2	3	4	5	6
1. Tag	0,16	0,16	0,16	0,22	0,27	0,28
2. Tag	1,53	1,53	1,53	1,26	0,77	0,71
Zusammen . .	1,69	1,69	1,69	1,48	1,04	0,99

In beiden Fällen wird an einem Tage nur ein geringer Energiebetrag verbraucht. Um die Kapazität der Sammler (14 AS) zu erschöpfen, kann man daher die Entladezeit im ersten Falle auf die vierfache und im zweiten auf die siebenfache Dauer ausdehnen (4 × 3,11 = 12,44; 7 × 1,69 = 11,83 AS). Es ist also nur jeden vierten bzw. siebenten Tag zu laden und umzuschalten. Diese Ersparnis ist bei kleinen Ämtern, die keinen besonderen Wärter haben, recht wesentlich.

Für die Fernsprechbatterien enthält die Einrichtung nur den Ladekreis; die Betriebsschaltung wird später besprochen werden. Die acht Mikrophonzellen werden im Betriebe parallel und bei der Ladung hintereinander geschaltet. Der Tagesverbrauch möge 20 AS betragen. Dann entfallen auf jede Zelle 20/8 = 2,5 AS und in vier Tagen 10 AS. In der Ladeeinrichtung für 110 V werden daher die Mikrophonzellen zugleich mit den Telegraphenzellen (12,44 AS) vollgeladen sein. Um die Mikrophonbatterie auch bei 220 V Ladespannung mit einem siebentägigen Verbrauch von 7 × 2,5 = 17,5 AS in derselben Zeit wie die Telegraphenbatterie volladen zu können, ist sie in zwei Hälften geteilt, die im Betriebe parallel und bei der Ladung hintereinander geschaltet werden. Diese Einrichtung erleichtert zugleich die Ausnutzung der hohen Ladespannung.

Der Verbrauch der Schlußzeichenbatterie ist, wie die Muster des ersten Abschnitts ergeben, sehr gering; sie ist deshalb schnell vollgeladen.

In ähnlicher Weise lassen sich auch andere Batterien, z. B. kleine Lampenbatterien, mit den Telegraphensammlern laden. Vorteilhaft ist es aber, dafür die oberen Gruppen der Telegraphenbatterien mit zu benutzen, wenn die Spannung es gestattet, da auf diese Weise ein besserer Ausgleich der Strombelastung ermöglicht und die Anlage vereinfacht wird.

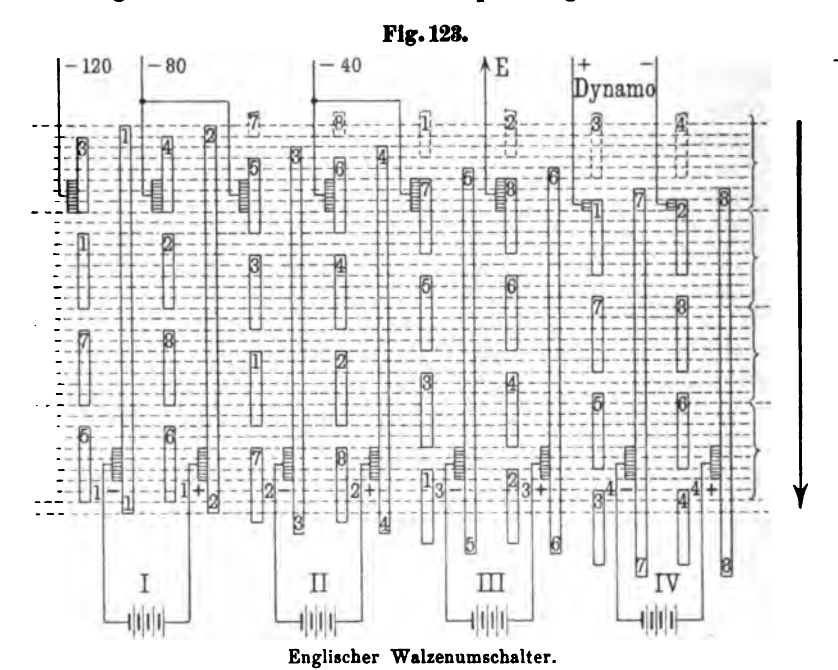
Einrichtung der englischen Telegraphenverwaltung. Im Gegensatze zu den Kurbelschaltern gestatten die Walzenumschalter die Anpassung an verschiedenartige Verhältnisse im allgemeinen nicht ohne große Kosten. Die englische Telegraphenverwaltung[1]) verwendet daher ein Normalmuster, das durch Vergrößerung der Batteriegruppen auf je 20 Zellen vereinfacht ist. Die Ämter haben vier positive und vier negative Gruppen mit 18 bis 27 AS, von denen immer zwei als Vorrat bereit stehen. Die Spannungen betragen ± 40, ± 80 und ± 120 V. In seltenen Fällen, wo höhere Spannungen nötig sind, werden Chromsäureelemente vorgeschaltet. Außer der Hauptbatterie ist noch eine positive und eine negative 24-voltige Batterie für Lokalkreise und kurze Leitungen mit hohem Stromverbrauch vorhanden.

[1]) Herbert, Telegraphy, S. 470.

Ihre Kapazität beträgt bis zu 90 AS. Von den Lokalbatterien ist ein zweiter Satz als Vorrat und Aushilfe bei der Ladung vorhanden. Sie werden in Hintereinanderschaltung geladen und haben einfache Hebelumschalter zum Umlegen vom Betrieb auf den Ladekreis.

Der Walzenumschalter der Hauptbatterien ist in **Fig. 123** dargestellt. Die positive und die negative Seite haben ihren besonderen Umschalter. Die Oberfläche der Walze ist abgewickelt gezeichnet. Sie trägt acht lange Metallstreifen und eine Reihe von kurzen Metallstücken. Die gleich numerierten Streifen und Stücke sind verbunden. Auf den langen Streifen schleifen Bürsten, die mit den vier Batteriegruppen in Verbindung stehen. Auch die Ladeleitungen sind an ein solches Bürstenpaar angeschlossen. In der dar-

Fig. 123.



Englischer Walzenumschalter.

gestellten Lage ist die Gruppe I mit dem Ladekreise verbunden, Gruppe II liegt zwischen 120 und 80 V, Gruppe III zwischen 80 und 40 V und Gruppe IV zwischen 40 V und Erde. Die Walze hat vier Stellungen. Bei der Umdrehung gelangt jede Batteriegruppe einmal auf den Ladekreis und auf alle Spannungsstufen, und zwar auf die unteren mit stärkerem Stromverbrauch zuletzt. Es erfolgt sonach eine gleichmäßige Entladung der Gruppen. Für die Ladung aus einem Starkstromnetz wird dieser Vorteil nicht ausgenutzt, da die Gruppen nicht zusammen geladen werden. Es wird nur eine Verlängerung der Entladedauer dadurch erzielt.

Die Ladung erfolgt, wenn ein Gleichstromnetz von 100 V zur Verfügung steht, unmittelbar; bei Netzen von 200 und mehr Volt wird die Spannung auf 70 V umgeformt. Die Hauptgruppen werden einzeln, die Lokalbatterien in Hintereinanderschaltung von zwei Sätzen mit zusammen 24 Zellen geladen. In kleinen Orten ohne Starkstromnetz ladet man auch Sammler aus Primärelementen.

Vorteile der Gruppenvertauschung. Durch die Umschaltung der Batteriegruppen werden folgende Vorteile erzielt:

1. Die Sammler lassen sich so benutzen, daß 40 oder 80 Zellen aus einem Gleichstromnetz mit 110 oder 220 V unmittelbar aufgeladen werden können. Dadurch werden die Kosten der Maschinenanlage erspart und ihre Geräusche vermieden. Zugleich wird die Bedienung der Anlage erleichtert, weil ein ständiger Wärter nicht erforderlich ist.

2. Der Wirkungsgrad der Anlage wird günstiger und die Stromkosten erreichen den im zweiten Abschnitt berechneten niedrigen Wert.

3. Die Ladezeit wird verkürzt. Bei den meisten Anstalten wird wöchentlich nur ein- oder zweimal zu laden sein.

4. Die Bedienung wird vereinfacht und erfordert nur mechanisch auszuführende Handgriffe. Bei den deutschen und englischen Einrichtungen erfolgt die Hauptentladung im letzten Teile der Benutzung. Die Spannung der Sammler braucht deshalb vorher nicht besonders überwacht zu werden. Auch auf der letzten Spannungsstufe können Irrtümer über die Dauer der Benutzung nicht entstehen, da die Spannungsmessung nicht als Maßstab dient.

5. Dadurch werden die schädlichen Überentladungen vermieden. Von großem Vorteil für die Sammler ist es auch, daß sie während des größten Teils der Benutzungsdauer ziemlich vollgeladen sind und erst kurz vor der Wiederladung erschöpft werden.

6. Die ganze Batterie kann aus gleichartigen Zellen von geringer Kapazität bestehen. Für kleine Anstalten würden Zellen mit weniger als 14 AS benutzt werden können.

7. Für Netzstörungen ist eine Vorratsstromquelle nicht erforderlich. Die Batterien werden bei einem Kreislauf nicht vollständig entladen und können noch einige Zeit auf den oberen Spannungsstufen, wenn sie diese ohne Ladung wieder erreichen, Strom liefern. Sind z. B. drei Stufen vorhanden, so würden sie bei zweitägiger Umschaltung noch für sechs Tage auf wenig entladene Gruppen geschaltet werden können. Diese Zeit genügt, um Ersatzstromquellen zu beschaffen und aufzustellen.

b) Fernsprechbetrieb.

α) Maschinenladung.

Einfache Ladeeinrichtung. Die Ladeeinrichtungen für Fernsprechbatterien sind in der Regel einfach, da nur zwei Batterien vorhanden sind, die zwischen Betrieb und Ladung mit Hilfe von Hebelschaltern gewechselt werden. **Fig. 124** zeigt eine einfache Ladeeinrichtung für das auf S 13 im ersten Abschnitt unter II. besprochene Z. B.-Amt. Die Schalter, Batteriesicherungen und Betriebszuleitungen sind für eine höchste Stromstärke von 600 A und die Batterien für einen täglichen Stromverbrauch von rund 3000 AS bemessen. Da die 12-zelligen Batterien bei der Ladung eine Spannung von 24 bis 33 V haben, so würden sie aus einem Gleichstromnetz von 110 V in gewöhnlicher Schaltung nur mit etwa 70 Proz. Verlust unmittelbar geladen werden können. Es werden deshalb Motor-Generatoren benutzt. Die Stromleistung ist so zu bemessen, daß eine Batterie während des Tagesdienstes eines Wärters, also in etwa acht Stunden, vollgeladen werden kann. Die Strom-

stärke berechnet sich bei 10 Proz. Zuschlag zur täglichen Stromentnahme auf (3000 + 3000 × 0,1)/8 = rund 400 A. Den Ladestrom liefern zwei gleiche Umformersätze für 200 A in Parallelschaltung. Diese Einrichtung hat den Vorteil, daß bei der Beschädigung einer Maschine sofort die zweite betriebsfertig bereit steht. Durch die Verwendung kleinerer Maschinen wird allerdings der Wirkungsgrad der Anlage um einige Prozent erniedrigt. Aber bei einem Gesamtwirkungsgrade der Anlage von 50 Proz. einschließlich der Sammlerverluste ist dieser Unterschied noch nicht von großer Bedeutung. Bei der Nachladung mit halber Stromstärke reicht eine Maschine aus.

Fig. 124.

Einfache Ladeeinrichtung mit Motor-Generatoren.

Manche Anlagen haben nur einen Maschinensatz von der vollen Leistungsfähigkeit. Von den Ankern, als den empfindlichsten Maschinenteilen, sind dann zwei Stück vorhanden.

Der Strommesser kann durch einen Sparschalter mit verschiedenen Nebenschlüssen verbunden und zur Feststellung des Betriebsstromes sowie der Maschinenströme benutzt werden. Ebenso lassen sich mit dem Spannungsmesser die Maschinen- und Batteriespannungen ermitteln.

Die Kapazität der Batterie wird bei der Reichs-Telegraphenverwaltung in der Regel dem eintägigen Bedarf, der 10 Jahre nach der Einrichtung zu erwarten ist, angemessen. Dabei ist zu bedenken, daß ein Sammler allmählich durch Abbröckeln der Masse an den positiven Platten und durch Schrumpfen der negativen Masse eine Einbuße an Kapazität erleidet. Es

empfiehlt sich aber nicht, von vornherein eine zu große Type zu wählen, weil, abgesehen von den Mehrkosten, eine solche Batterie während der ersten Jahre nicht angemessen benutzt werden und leicht der Sulfatierung unterliegen würde. Außerdem kann bei der lebhaften Entwicklung der Fernsprechtechnik eine Änderung der technischen Einrichtung eintreten und eine Umgestaltung der Batterie erforderlich machen. Die Kapazität sollte deshalb anfänglich nur so groß sein, daß sie für höchstens drei Tage ausreicht. Zwischen zwei Ladungen vergehen dann immer noch sechs Tage. Man kann aber der Sulfatierung dadurch entgegenarbeiten, daß die Batterie vor jeder Inbetriebnahme nochmals vollgeladen wird. Die nachträgliche Vergrößerung der Kapazität durch Vermehrung der Plattenzahl ist wenig zu empfehlen, da alte Platten an Kapazität verlieren und mit neuen nicht gleichmäßig zusammen arbeiten.

Ladeeinrichtung für geteilte Batterien. Bei Vermittelungsämtern mit 2×12 V Spannung nach dem Siemensschen Muster ist, wie die Berechnung des Stromverbrauchs auf der ersten Ausschlagtafel ergibt, die Belastung der beiden Batteriehälften verschieden groß. Sie können deshalb nicht in fester Hintereinanderschaltung geladen werden, weil die eine früher vollgeladen ist. Es käme daher in Frage, die Maschinenspannung zur Einzelladung der zweiten Batterie auf die Hälfte herabzumindern, oder beide Batterien in Parallelschaltung mit der halben Maschinenspannung zu laden. Beides würde den Preis und Wirkungsgrad der Maschinen ungünstig beeinflussen. Es empfiehlt sich daher, die Hintereinanderschaltung beider Batteriehälften dadurch zu ermöglichen, daß sie gleichmäßig entladen werden, indem man sie in der Mitte der Benutzungszeit vertauscht. Diese Einrichtung hat außerdem den Vorteil, daß die Kapazität beider Batteriehälften nach dem Mittel des Stromverbrauchs bemessen werden kann.

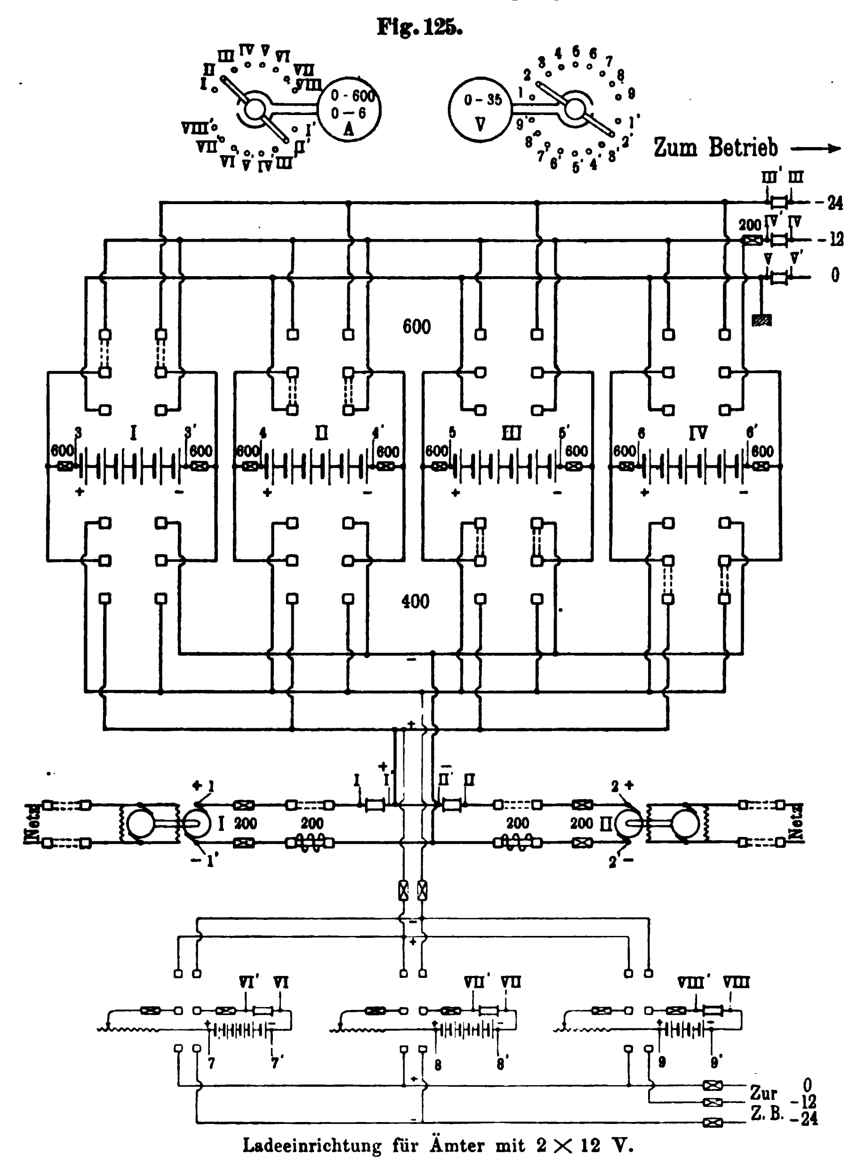
Für die Umschaltung eignet sich die in **Fig. 125** dargestellte Einrichtung. Jede sechszellige Batteriegruppe hat in der oberen Schalterreihe ihren Betriebsschalter und in der unteren ihren Ladeschalter. Die Gruppen sind vollkommen unabhängig voneinander und können zum Betriebe wie zur Ladung beliebig zusammengeschaltet werden. Nach der Figur ist die Gruppe I auf die obere und die Gruppe II auf die untere Betriebshälfte geschaltet. Die beiden Betriebsschalter III und IV befinden sich in der Mittelstellung. Damit beim Wechseln der Batterien keine Stromunterbrechung eintritt, wird einer abzuschaltenden Gruppe vorher eine andere parallel geschaltet. In der unteren Schalterreihe stehen Nr. III und IV auf Ladung, während I und II dort ausgeschaltet sind. Der Ladekreis ist als Dreileiternetz ausgebildet und gestattet eine beliebige Zusammenschaltung der Batterien in den beiden Netzhälften.

Die Nebenschlüsse des Strommessers ermöglichen die Feststellung folgender Stromstärken: I. Maschine I; II. Maschine II; III. 24-V-Leitung; IV. 12-V-Leitung; V. geerdete Rückleitung. Die Stromstärke der Rückleitung ergibt sich als Summe der Stromstärken in den beiden anderen Betriebszuführungen. Eine besondere Messung kann aber zur Ermittelung größerer Erdfehler dienen. Der Sparschalter des Spannungsmessers hat Anschlüsse an die beiden Maschinen und an alle Batterien.

Die Anlage ist zugleich zur Ladung kleiner Batterien für besondere Zwecke eingerichtet. Im vorliegenden Falle können zwei sechszellige Fern-

druckerbatterien und ein vierzelliger Satz geladen werden. Solange die Maschinen laufen, wird der Ladestrom aus der einen Ladehälfte mit 12 bis 17 V unmittelbar entnommen. Die im unteren Teile der Figur angedeuteten kleinen Umschalter sind dann nach oben umgelegt. Während die Maschinen

Fig. 125.



Ladeeinrichtung für Ämter mit 2 × 12 V.

ruhen, muß der Ladestrom den im Betriebe befindlichen Zentralbatterien entnommen werden. Dazu werden die Schalter nach unten umgelegt. Für die vierzellige Batterie genügt die Hälfte der Betriebsspannung; dagegen müssen die sechszelligen mit 24 V gespeist werden. Bei 6 A Hauptladestrom und 3 A Nachladestrom muß der Regulierwiderstand für die sechszelligen Batterien

(24 — 6 × 2,7)/3 = 2,6 Ohm und für die vierzellige (17 — 4 × 2,7)/3 = 2,1 Ohm betragen. Außer dem Regulierwiderstand enthält jeder Strom-

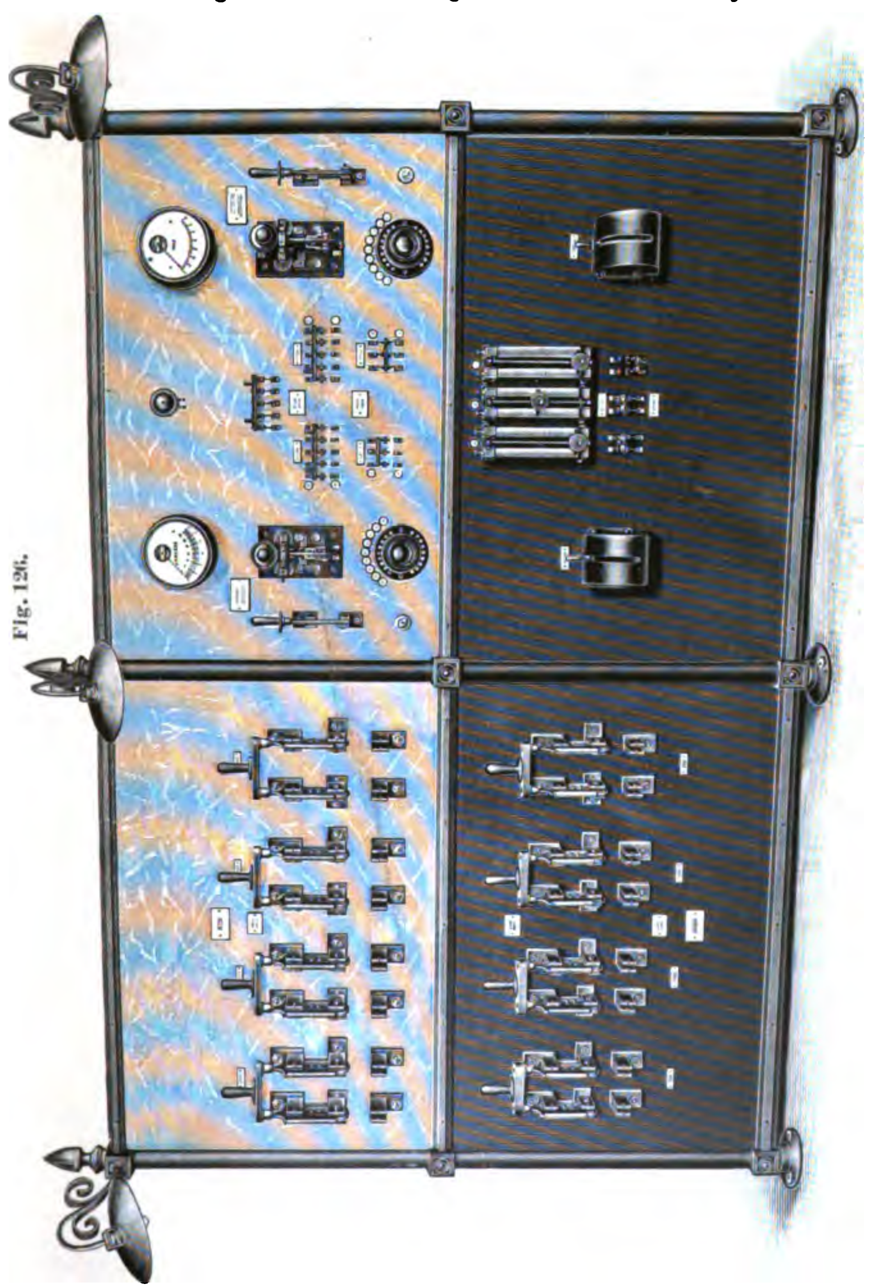


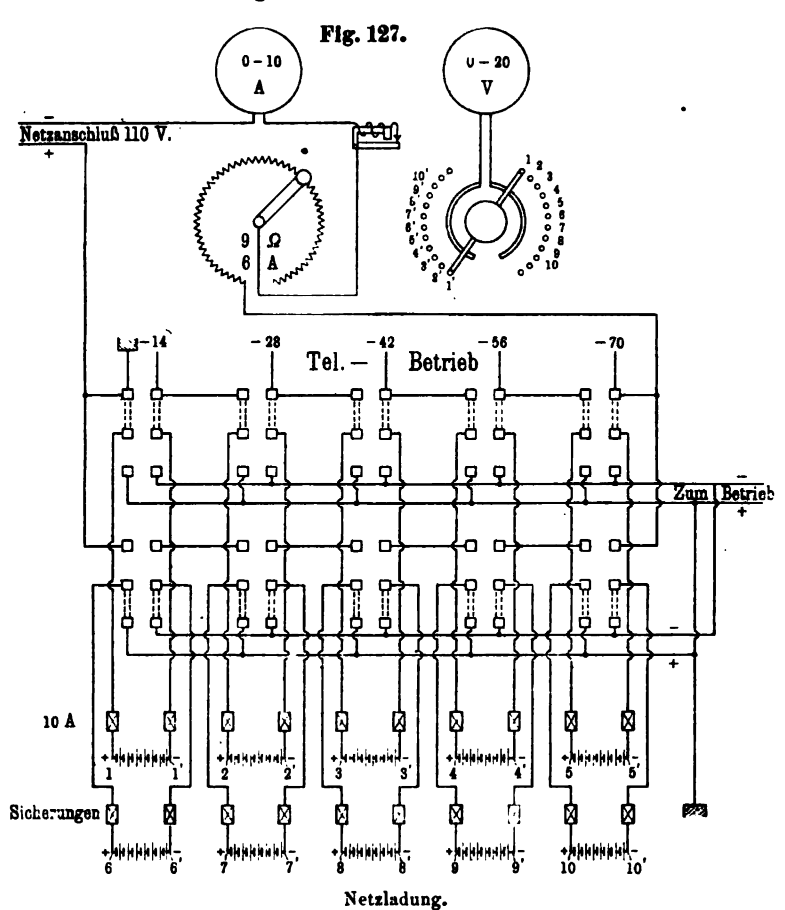
Fig. 126.

kreis noch zwei Sicherungen und einen Nebenschluß zum Strommesser, dessen zweiter Meßbereich von 0 bis 6 A für die kleinen Sammler benutzt wird. Auch zum Sparschalter des Spannungsmessers führen Zuleitungen von den

Batteriepolen. Wenn die kleinen Batterien an Ort und Stelle gebraucht werden, empfiehlt es sich, ihre Zuleitungen an die Drehpunkte von Umschaltern zu legen und so einen Wechsel zwischen Betrieb und Ladung zu ermöglichen.

Eine Ansicht der Schalttafel für die beschriebene Einrichtung gibt **Fig. 126.** Auf der linken Seite sitzen die Betriebs- und Ladeschalter, die jedoch nicht betriebsmäßig stehen. Die rechte Seite enthält oben die Instrumente, darunter den Schalter und den Selbstschalter für jede der Lademaschinen und dann die beiden Sparschalter. Den mittleren Teil des Feldes nehmen die Schalter der im zweiten Abschnitt unter B beschriebenen Rufeinrichtung ein (vgl. S. 105). In den sekundären Kreis der Selbstschalter wird der oben sitzende Wecker durch die unten rechts und links erkennbaren kleinen Dosenschalter eingeschaltet. Das untere Feld trägt die durch Schutzkappen verdeckten beiden Netzschalter und die Regulierwiderstände und Schalter der kleinen Batterien.

Fig. 127.



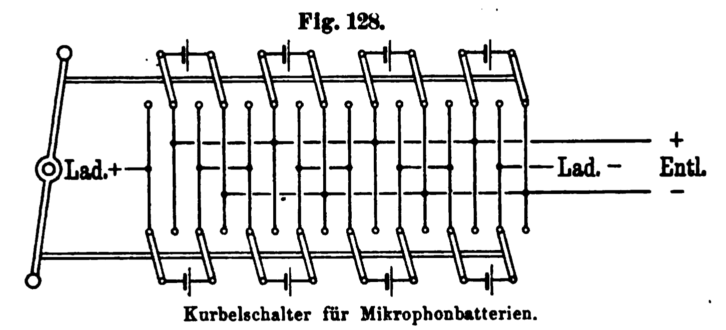
Netzladung.

β) **Netzladung.** Obgleich die Fernsprechbatterien meist eine niedrige Spannung haben. lassen sie sich doch bei passender Schaltung unmittelbar

aus einem Starkstromnetz laden. Wie bereits erörtert, wird dadurch, namentlich in kleinen Anlagen, nicht allein der Wirkungsgrad verbessert, sondern auch die Ladeeinrichtung und ihre Bedienung vereinfacht. Die Anordnüng besteht darin, daß statt einer großen Batterie eine Reihe von kleinen verwendet wird, die bei der Ladung hintereinander und beim Betriebe parallel geschaltet sind. **Fig. 127** stellt eine solche Einrichtung für das auf S. 19 im ersten Teil unter IV, 1 beschriebene Vermittelungsamt mit 14-voltiger Batterie dar. Die Ladespannung beträgt 110 V. Es können mithin fünf Gruppen zu je sieben Zellen = 35 Zellen geladen werden. Der Tagesverbrauch ist auf 70 AS berechnet. Jede Gruppe muß deshalb 70/5 = 14 AS haben. Ein zweiter Batteriesatz ist als Ersatz bei der Ladung und als Reserve für Störungsfälle aufgestellt und wird abwechselnd mit dem ersten benutzt. Die untere Schalterreihe ist nach unten umgelegt; die zugehörigen Batterien speisen in Parallelschaltung die Betriebszuleitungen. Die obere Reihe ist mit hintereinander geschalteten Batterien an den Ladekreis angeschlossen.

Die Anlage dient zugleich zur Versorgung einer kleinen Telegraphenanstalt mit negativem Strome für Arbeitsstromleitungen. Zu diesem Zwecke

Fig. 128.



Kurbelschalter für Mikrophonbatterien.

ist die unbenutzte oder unter Ladung stehende Batterie mit Abzweigungen versehen und mit dem geerdeten + -Pole auf den Mittelleiter des Starkstromnetzes geschaltet. Ein Übelstand der Schaltung besteht darin, daß die Betriebsspannungen bei der Ladung der Sammler zeitweise um etwa ein Drittel zunehmen. Mit einer gleichen Spannungsschwankung muß aber auch bei Primärelementen gerechnet werden. In einer früheren Anlage des Haupttelegraphenamts in Berlin[1]) wurde bei Ladung einer Batterie während des Betriebes dadurch Abhilfe geschaffen, daß einzelne an der Erdleitung liegende Zellen bei der Ladung durch einen Zellenschalter abgeschaltet werden konnten. Im vorliegenden Falle ist eine solche Maßnahme nicht möglich, weil einzelne Leitungen aus der untersten Spannungsstufe gespeist werden und daher eine wesentliche Verkleinerung der zugehörigen Batteriegruppe nicht ertragen.

Damit beim Wechseln der Batterien Stromunterbrechungen sowohl im Fernsprech- als auch im Telegraphenbetriebe vermieden werden, wird zuerst ein Schalter von unten nach oben und dann der gegenüberliegende von oben nach unten umgelegt. Darauf folgen die anderen in derselben Weise nach.

[1]) E. T. Z. 1890, S. 169.

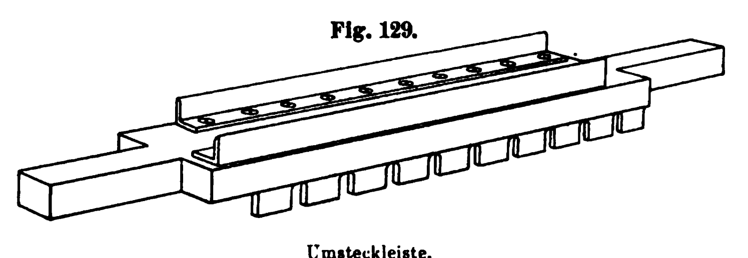
γ) Schaltung für Mikrophonbatterien.

Kurbelschalter. Die Amtsmikrophone der Vermittelungsanstalten mit Lokalbatterien werden meist mit 2 V gespeist und haben einen erheblichen Stromverbrauch. Um sie mit Telegraphenbatterien, deren Gruppen 10 oder 20 V Spannung und geringen Stromverbrauch haben, gemeinsam laden zu können, verwendet man statt eines großen Sammlers eine Reihe kleiner, die bei der Ladung hintereinander und im Betriebe parallel geschaltet werden. Die Schaltung ist also dieselbe wie bei der unmittelbaren Ladung von Zentralbatterien aus einem Starkstromnetz.

Bei der Vermittelungsanstalt in Stuttgart[1]) sind für diesen Zweck Kurbelschalter verwendet worden (**Fig. 128**). Die Zellen hatten eine Kapazität von 60 AS und speisten 44 Mikrophone mit einem Strome von je 0,1 A. Die Batterie bestand aus vier Zellen und hatte mithin $4 \times 60 = 240$ AS Kapazität. Sie reichte für fünf Tage.

Steckschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung. Bei der Reichs-Telegraphenverwaltung bestehen die Mikrophonbatterien oft aus acht oder zehn Zellen von 36 AS, die in einen Holzkasten eingebaut sind, weil sie

Fig. 129.



Umsteckleiste.

zur Ladestelle befördert werden müssen. Die Umschalteeinrichtung ist an den Kästen angebracht. Sie besteht aus einem am Kasten sitzenden Unterteil und einem Stecker. Das Unterteil, das in Fig. 43 auf S. 70 erkennbar ist, trägt auf einer kleinen Schieferplatte zwei Reihen von Klemmen mit Einschnitten oder federnden Backen. In diese werden die schneidenartigen Messingstücke einer Umsteckleiste hineingedrückt. Die Leiste (**Fig. 129**) trägt auf der einen Seite zwei lange Schneiden, die beim Einsetzen beide Klemmenreihen unter sich verbinden, und auf der anderen Seite kurze Bügel zur Verbindung von je zwei einander gegenüberliegenden Klemmen. Die Zellen sind nach **Fig. 130** mit jedem Pol an eine Reihe angeschlossen und werden in der einen Lage des Steckers parallel und in der anderen hintereinander geschaltet. Die Einrichtung hat neben ihrer Einfachheit den Vorteil, daß die Polzuführungen zum Umschalter sehr kurz sind. Die Kontakte bedürfen aber einer sorgfältigen Beaufsichtigung, da sie leicht durch Säuredämpfe oder verschüttete Säure oxydiert werden.

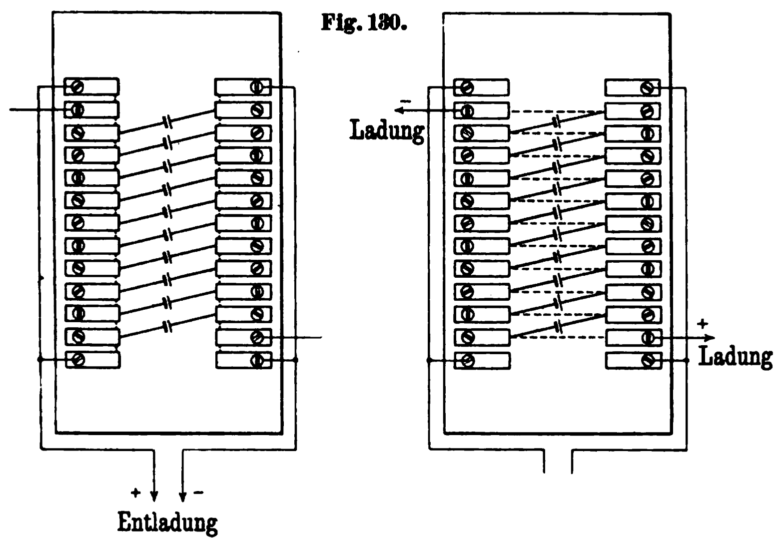
Walzenumschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung. Dieselbe Wirkungsweise hat der Walzenumschalter der Reichs-Telegraphenverwaltung. Er enthält zwei Reihen aufrecht stehender Federn, mit denen die Zellenpole verbunden sind, und eine drehbare Walze mit zwei langen

[1]) E. T. Z. 1898, S. 67.

Kontaktstücken und zwei Reihen einzelner Kontaktstücke, von denen immer die gegenüberliegenden miteinander verbunden sind.

δ) **Speisung von Zweig-Vermittelungs-Einrichtungen.** Für die Versorgung großer Vermittelungseinrichtungen, z. B. von Geschäftshäusern oder Behörden, die mit mehreren Leitungen an das Amt angeschlossen sind und einen lebhaften Verkehr zwischen den Nebenstellen haben, kommt die Einrichtung eigener Batterieanlagen oder die Speisung vom Amte aus in Frage. Beide Fälle sind im folgenden allgemein erörtert und ihre Kosten berechnet für einen Tagesverbrauch von 2 AS und eine höchste Stromstärke von 1,4 A, wie sie auf der dritten Ausschlagtafel an einem Muster ermittelt sind. Dabei ist eine Batteriespannung von 10 V angenommen. Zum Vergleich sind die Kosten einer amerikanischen Zweiganlage [1]) mit ebenfalls 2 AS Tages-

Fig. 130.



Schalter für Mikrophonbatterien.

verbrauch angegeben. Diese Einrichtung hat zwar nur 30 Nebenstellen und zwei Hauptleitungen, ist aber mit Signalglühlampen ausgestattet. Die Spannung ist doppelt so groß wie bei dem Muster der Reichs-Telegraphenverwaltung.

Für selbständige Stromversorgungsanlagen der kleinen Vermittelungsstellen kommen dieselben Stromquellen wie bei den Vermittelungsämtern in Betracht, nämlich Primärelemente und Dynamomaschinen in Verbindung mit Sammlern.

Primärelemente. Für Primärelemente sind hier die Verhältnisse günstiger als in gemeinsamen Batterien mit Lokalbatterie-Mikrophonen, weil Z. B.-Mikrophone benutzt werden, deren Schaltung eine gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Stromkreise ausschließt.

Es liegt eine Verwendung der allgemein im Sprechstellenbetriebe gebräuchlichen Trockenelemente nahe. Doch läßt sich von vornherein übersehen, daß sie für diesen Zweck nicht geeignet sind, weil die Ruhepausen fehlen und der Stromverbrauch zu groß ist.

[1]) The American Telephone Journal 1906, Nr. 12.

Für das gewählte Muster wären nach der vierten Ausschlagtafel 1,4/0,28 = 5 Reihen von je 9 Trockenelementen nötig. Ihre jährlichen Kosten sind folgendermaßen zu schätzen:

Unterhaltungskosten	20 ℳ
Stromkosten 2 × 365 × 9 × 0,05	330 „
Zusammen	350 ℳ.

Dies Ergebnis stimmt annähernd mit den Angaben über das amerikanische Muster überein. Die Jahreskosten betrugen dort für die doppelte Spannung 750 ℳ. Ein Satz großer Trockenelemente, der jährlich dreimal erneuert werden mußte, mit einer Kapazität von 300 AS für 20 V Spannung kostete einschließlich Aufstellung 250 ℳ.

An Kupferelementen wären 23 Reihen von je 10 Elementen erforderlich. Die Kosten würden jährlich betragen:

Unterhaltung 230 × 0,9	207 ℳ
Dazu für Wege	50 „
Stromkosten 2 × 365 × 0,002 × 10	15 „
Zusammen	272 ℳ.

Wenn der Kupferbatterie fünf Sammler parallel geschaltet werden, genügen zwei Reihen von je 21 Zellen. Ihre Kosten betragen jährlich:

Unterhaltung der Elemente 42 × 0,9	38 ℳ
Unterhaltung der Sammler 10 × 1,5	15 „
Dazu für Wege	50 „
Stromkosten 2 × $1^1/_2$ × 365 × 0,002 × 21	46 „
Zusammen	149 ℳ.

Die Parallelschaltung von Kupferelementen und Sammlern ist danach bedeutend billiger als die beiden anderen Betriebsweisen mit Primärelementen. Außerdem hat sie den Vorzug, daß die Betriebsspannung dauernd auf 10 V stehen bleibt, während sie in den beiden anderen Fällen bis auf 5 V sinken kann.

Sammler mit Dynamoladung. Die Kosten des Sammlerbetriebes mit unmittelbarer und mittelbarer Netzladung werden für amerikanische Anlagen wie folgt angegeben:

Netzladung. Beschaffungskosten:

Schalttafel mit Ladewiderständen, Schaltern, Selbstschalter	170 ℳ
11 Sammler für 1,5 A Ladestrom mit Drähten und Aufstellung	120 „
Zusammen rund	300 ℳ.

Jährliche Kosten:

Verzinsung und Tilgung	30 ℳ
Unterhaltung und Bedienung (Ladung wöchentlich zweimal je fünf Stunden)	70 bis 100 „
Stromkosten bei einem Strompreise von 0,336 ℳ für 1 KWS: 2 × 110 × 365 × 0,336/1000	30 „
Zusammen durchschnittlich	150 ℳ.

Dynamoladung. Beschaffungskosten:

Wechselstrom-Gleichstromumformer	300 ℳ
Schalttafel mit Instrumenten, Schaltern, Selbstschalter	570 „
11 Sammler	130 „
Aufstellung	100 „
Zusammen	1100 ℳ.

Jährliche Kosten:

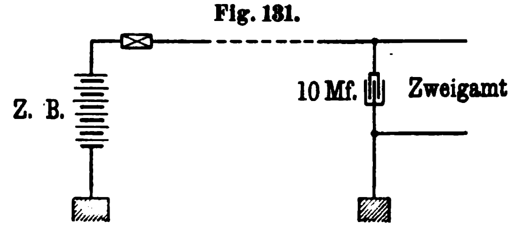
Verzinsung und Tilgung	110 ℳ
Unterhaltung und Bedienung	150 „
Stromkosten bei 1/5 Wirkungsgrad und 22 V Betriebsspannung: $2 \times 5 \times 22 \times 365 \times 0{,}336/1000$	30 „
Zusammen rund	300 ℳ.

Das Beispiel bestätigt wiederum, daß die unmittelbare Ladung aus einem Gleichstromnetz bei geringem Verbrauch vorteilhafter ist, als die Umformung der Netzspannung. Auch bei der unmittelbaren Ladung mit 220 V wären die Kosten geringer, da sich nur die Stromkosten verdoppeln. Die Gesamtsumme würde dann 180 ℳ betragen. Dieselbe Summe ist für eine Vermittelungsstelle mit 10 V Betriebsspannung anzusetzen, da die Energieentnahme aus dem Netze nicht geringer wird. Bei der Umformerladung vermindern sich dagegen die Stromkosten auf etwa die Hälfte, also auf rund 20 ℳ, wenn nur fünf Sammler zu laden sind. Die Gesamtausgabe beträgt dann 280 ℳ.

Die Versorgung aus der Zentralbatterie geschieht in folgender Weise:

Speiseleitungen mit Kondensatoren. Vielfach wird den Zweiganstalten der Strom aus der Zentralbatterie unter Benutzung von Kabeladern zugeführt. Dabei dient in der Regel die Erde als Rückleitung (Fig. 131). Die Zahl der parallel zu schaltenden Kabeladern ergibt sich aus folgender Betrachtung: Es sei der Widerstand einer Kabelader gleich w, ihre Anzahl gleich Z, die höchste Stromstärke gleich J und die Betriebsspannung der Zweiganstalt gleich E. Wird eine Schwankung der Betriebsspannung bis auf die Hälfte zugelassen, so ist: $w \cdot J/Z = E/2$ und $Z = 2\,w\,J/E$. Beträgt die Entfernung vom Hauptvermittelungsamt 1 km, der Widerstand von 1 km Kabelader 37 Ohm, die höchste Stromstärke 1,4 A und die Betriebsspannung 10 V, so ist $Z = (2 \times 37 \times 1{,}4)/10 = 10$, d. h. die Zuleitung muß 10 Adern oder 5 Adernpaare umfassen. Die Jahreskosten der Einrichtung für den Fall, daß die Zweiganstalt 1 km von der Fernsprechanstalt entfernt liegt, sind wie folgt zu schätzen:

Fig. 131.



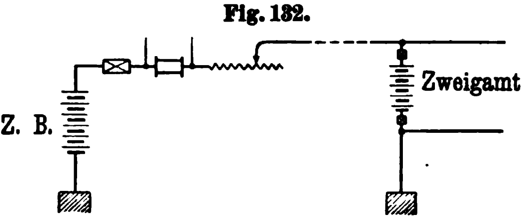
Hauptstellenspeisung mit Kondensator.

Für 5 km Doppelader zu 10 ℳ an Verzinsungs- und Tilgungskosten	50 ℳ
Stromkosten bei Entnahme aus einer 24-voltigen Anlage mit 50 Proz. Wirkungsgrad nach S. 96 0,0008 ℳ für 1 WS, mithin $2 \times 24 \times 365 \times 0{,}0008$: rund	14 „
Zusammen	64 ℳ.

Diese Art der Versorgung ist danach für eine kurze Entfernung billig und einfach. Sie hat freilich den Nachteil, daß die Spannung nicht beständig ist, und daß durch die Erdleitung Geräusche eindringen können, die aber durch Einschaltung von Querkondensatoren herabzumindern sind. Bei großen Entfernungen wird das Verfahren sehr kostspielig.

Pufferbatterie. Die Schwankungen der Betriebsspannung und die Erdgeräusche lassen sich durch Einschaltung von Sammlern als Pufferbatterien nach **Fig. 132** fernhalten. Beträgt die Spannung der Zentralbatterie 24 V, diejenige der Zweigbatterie E und der tägliche Strombedarf B, so muß die Hauptbatterie einschließlich eines kleinen Zuschlages einen dauernden Strom von $(B \times 1{,}2)/24 = B/20$ liefern. Die Pufferbatterie wird nachts aufgeladen; ihre mittlere Spannung beträgt dabei $E \times 2{,}3/2$. Damit ein Strom gleich $B/20$ entsteht, muß der Zuleitungswiderstand gleich

Fig. 132.

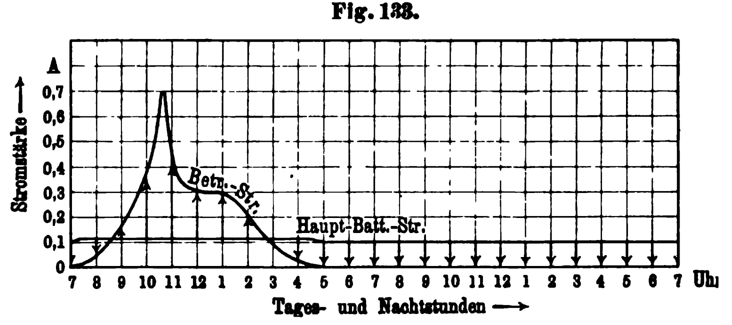


Hauptstellenspeisung mit Pufferbatterie.

$$\frac{24 - E \times 2{,}3/2}{\frac{B}{20}}$$

sein. Für das angenommene Beispiel ergibt sich $(24 - 11{,}5)/0{,}1 = 125$ Ohm. Die Pufferbatterie empfängt während der Nacht durchschnittlich $(24 - 11{,}5)/125 = 0{,}1$ A Ladestrom. Wenn am Tage der Betrieb Strom zu verbrauchen anfängt, nimmt der Ladestrom immer mehr ab, weil die Ladespannung an den Polen der kleinen Batterie mit der Zunahme des Stromes und Spannungsabfalls der Zuleitung sinkt. Das Sinken findet eine Grenze, sobald der Wert von 10 V, den die Pufferbatterie vermöge ihrer Eigenspannung aufrecht

Fig. 133.



Zusammenwirken von Haupt- und Pufferbatterie.

erhält, erreicht ist. Zu diesem Zeitpunkte liefert die Zentralbatterie für den Betrieb $(24 - 10)/125 = 0{,}11$ A, während die Zweigbatterie nichts mehr aufnimmt. Steigt nun der Strombedarf des Betriebes über 0,11 A, so wird der Überschuß von der kleinen Batterie geliefert. Der Anteil der Hauptbatterie kann sich nicht erhöhen, weil die Pufferbatterie eine Vergrößerung des Spannungsabfalls der Zuleitung über 14 V unmöglich macht. Die Stromverhältnisse sind in **Fig. 133** graphisch veranschaulicht.

Die Entfernung der Zweiganstalt vom Hauptvermittelungsamt kann bei Benutzung eines Adernpaares als Zuleitung $2 \times 125/37 = 6{,}8$ km und bei Freilassung der zweiten Ader für andere Zwecke $125/37 = 3{,}4$ km betragen. Auf

diese Werte muß der Zuleitungswiderstand künstlich erhöht werden. Dazu werden am besten veränderliche Widerstände benutzt, die eine Einstellung des richtigen Wertes nach den im Betriebe gemachten Beobachtungen ermöglichen. Eine Probe läßt sich in der Weise anstellen, daß zeitweise abends und morgens der Regulierwiderstand stark ermäßigt wird. Die Batterie muß im ersteren Falle nach einiger Zeit und im letzteren Falle schnell zur Gasentwicklung kommen.

Die jährlichen Kosten der Einrichtung betragen bei einer Entfernung von 1 km:

Kabelader	5 ℳ
Sammlerunterhaltung	10 „
Stromkosten wie vorher	14 „
Zusammen . .	29 ℳ.

Sammlerbatterie mit Ladung aus der Z. B. Wenn man zur Ladung der Zweigbatterie nachts die unbenutzten Anschlußleitungen verwendet, fallen die Kosten der Kabelader fort. Dafür werden aber die Bedienungskosten höher. Der Gesamtbetrag wird daher höher sein als vorher; er wird etwa 35 ℳ betragen.

Zusammenstellung. Von den besprochenen Betriebsweisen wird diejenige auszuwählen sein, die den besonderen Verhältnissen einer Anlage am besten entspricht. Bei sehr geringem Stromverbrauch lassen sich Trockenelemente verwenden, bei größerem Bedarf Kupferelemente, wenn die Entfernung vom Vermittelungsamt nicht zu groß ist und der Betriebsstrom nicht über 0,06 A steigt. Wird die Stromstärke größer, so kann die Benutzung einer Sammlerbatterie, die möglichst aus der Zentralbatterie zu speisen ist, nicht vermieden werden. Nur bei geringer Entfernung zwischen Haupt- und Zweigamt lassen sich auch Speiseleitungen mit Kondensatoren verwenden.

Bei der Aufstellung von Sammlern muß auf Ableitung der Säuredämpfe Bedacht genommen werden, etwa in der Weise, daß die Zellen in einem abgeschlossenen und mit Abzug ins Freie versehenen Holzkasten an der Außenwand untergebracht werden.

4. Störungen.

a) Fehler in der Batterie. Störungen in den Telegraphenbatterien gefährden den Betrieb nicht allzusehr. Ein einzelner schadhafter Sammler z. B. kann, ohne daß die Stromstärke wesentlich verringert wird, aus der Batterie einfach herausgenommen werden. Um größeren Störungen zu begegnen, wie sie etwa ein Brand im Batterieraum verursacht, empfiehlt es sich, bei kleineren Ämtern Trockenelemente bereit zu halten und zu einer Batterie zusammenzustellen, und bei Ämtern mit größerem Strombedarf in Orten mit Gleichstromnetzen Abzweigwiderstände oder Abzweigbatterien nach dem Muster der in diesem Abschnitt beschriebenen Einrichtungen vorzusehen. Die Abzweigbatterien würden der Einfachheit halber ohne angeschaltete Widerstände zu benutzen sein. Auch wird man nicht Sammler der gewöhnlichen Art verwenden, da diese bei längerem Stehen unbrauchbar werden, sondern Glasgefäße mit Elektroden, die aus Blei von etwa 20 qcm Größe einfach herzustellen sind. Sie lassen sich aus den Bleimänteln unbrauchbarer

Kabel in der Weise anfertigen, daß passende Streifen ∩-förmig gebogen und mit ihren Enden in zwei benachbarte Gefäße gehängt werden. Die Füllung mit verdünnter Schwefelsäure erfolgt erst im Bedarfsfalle.

Fehler in Fernsprechbatterien können ebenfalls nicht leicht Betriebsstörungen von längerer Dauer verursachen. Da in der Regel zwei Sätze vorhanden sind, wird die unbeschädigte Batterie am Tage zu benutzen und nachts zu laden sein. Auch hier kann eine schadhafte Zelle ohne Nachteil für die Lampen, Relais usw. entfernt werden. Bei größeren Beschädigungen in beiden Batteriesätzen müssen aber Ersatzsammler aufgestellt werden. Für diesen Zweck kommen im Betriebe der Reichs-Postverwaltung in erster Linie die zur Bahnpostwagenbeleuchtung dienenden Böseschen Typen DIV und Ww III (siehe Zusammenstellung auf S. 72) in Betracht. Nötigenfalls muß eine entsprechende Anzahl parallel geschaltet werden.

In manchen amerikanischen Fernsprechvermittelungsanstalten werden Kupferoxydelemente als Ersatzstromquellen bereit gehalten. Sie lassen sich im Bedarfsfalle schnell betriebsfertig herrichten und auch nach anderen Orten verschicken.

b) Beschädigungen der Dynamomaschinen. Bedenklicher als die Batteriestörungen sind Fehler in den Dynamomaschinen, weil die Wiederherstellung oft nicht an Ort und Stelle erfolgen kann und längere Zeit in Anspruch nimmt. Wo der Betrieb unmittelbar aus der Maschine ohne Benutzung einer Batterie versorgt wird, werden für den Fall von Maschinenstörungen ausreichende Aushilfseinrichtungen zur sofortigen Inbetriebnahme bereitzustellen sein.

Wenn eine Sammlerbatterie vorhanden ist, genügt es, erst im Bedarfsfalle die nötigen Vorkehrungen zu treffen, falls nicht der Maschinenbetrieb mit einer zweiten Dynamo oder mit einem Vorratsanker aufrecht erhalten werden kann. Die Batterie wird dann unmittelbar aus dem Netze, wenn es Gleichstrom führt, zu laden sein. Der überschüssige Teil der Netzspannung muß natürlich in Widerständen vernichtet werden. Am leichtesten lassen sich für diesen Zweck Flüssigkeitswiderstände, wie sie früher auf S. 86 besprochen sind, benutzen. Für Telegraphenzwecke wird man auch Kupferelemente mit verdünnter Flüssigkeit verwenden können. In Fernsprechanlagen ist bei der Netzladung zu berücksichtigen, daß die Motorzuleitungen und -Sicherungen erheblich niedrigere Stromstärken als die Ladeleitungen zulassen. Für Fernsprechvermittelungsämter, namentlich in Orten mit Wechselstromnetzen, ist die Bereithaltung von großen Kupferoxydelementen bei einigen Zentralstellen zu empfehlen.

c) Versagen des Starkstromnetzes. Bedeutendere Störungen sind zu befürchten, wenn das Starkstromnetz längere Zeit versagen sollte. Die zuweilen vorkommenden Kabelbeschädigungen werden sich im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe freilich kaum bemerklich machen, da sie gewöhnlich in wenigen Stunden beseitigt werden und ein Kabel meist Speiseanschluß von zwei Seiten hat, so daß die Stromzuführung nicht immer abgeschnitten wird. Etwaigen Störungen dieser Art vorzubeugen, wird man, wenn die Kosten nicht zu groß sind, den Strombezug dadurch sicherstellen, daß die Ladestelle an zwei verschiedene Kabel angeschlossen wird. In größeren Orten, wo

mehrere Kraftwerke vorhanden sind, werden auch größere Beschädigungen eines Werkes nicht zu Betriebsstörungen führen.

Immerhin muß damit gerechnet werden, daß die Stromlieferung, z. B. infolge einer Arbeitseinstellung, für Tage oder Wochen aufhören kann. In diesem Falle läßt sich der geringe Strombedarf des Telegraphenbetriebes durch Trocken- oder andere Primärelemente oder durch Bahnpostwagenbatterien oder schließlich durch Zuführung auf den Telegraphenleitungen decken.

Für den Fernsprechbetrieb bereitet die Hin- und Hersendung von Batterien bei dem großen Stromverbrauch erhebliche Schwierigkeiten. Es wäre daher in vielen Fällen die Aufstellung von Kupferoxydelementen, die an bestimmten Orten bereit gehalten werden können, vorzuziehen.

In Orten, wo eine Kraftanlage, z. B. für Hughesmotoren, vorhanden ist, läßt sich diese in einfacher Weise auch zum Laden der Sammler einrichten. Für Orte mit mehreren großen Fernsprechanstalten ist die Beschaffung fahrbarer Kraftanlagen mit Dynamomaschinen für 35 V Spannung sehr zu empfehlen. Derartige Maschinen, die übrigens auch zum Antrieb von Vakuumreinigern, Kabelwinden u. dgl. zu benutzen wären, würden sich leicht auch nach anderen Orten verschicken lassen.

Wenn auf einem der angegebenen Wege genügend für Ersatz gesorgt ist, bedarf es der Bereithaltung großer Batterien nicht; für Vermittelungsanstalten genügen dann zwei Batterien von solcher Beschaffenheit, daß jede den Tagesbedarf decken kann.

B. Leitungen und Sicherungen.

I. Leitungsmaterialien und Verlegungsarten.

1. Isolierte Leitungen.

a) Gummiaderleitungen. Zur Verbindung der Apparate und Schalteinrichtungen untereinander wird fast ausschließlich Kupferdraht entweder isoliert oder blank verwendet. Über die Beschaffenheit, Verlegung und Belastungsfähigkeit der Leitungen enthalten die Errichtungsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker eine Reihe von Bestimmungen, die bei der Einrichtung von Stromlieferungsanlagen zu beachten sind.

An isolierten Leitungen werden Gummiader- und Gummibandleitungen[1]) unterschieden. Die Gummiaderleitungen (abgekürzte Bezeichnung G. A.) enthalten eine feuerverzinnte Kupferseele, die zur Verhütung von Brüchen bei einem Querschnitt von mehr als 16 qmm aus mehreren Drähten bestehen muß. Sie ist mit einer wasserdichten vulkanisierten Gummihülle umgeben und mit gummiertem Band umwickelt. Darüber befindet sich eine imprägnierte Umklöpplung aus Baumwolle, Hanf oder gleichwertigem Material. Bei Mehrfachleitungen (Doppelleitungen) kann die Umklöpplung gemeinsam sein. Gummiaderleitungen dürfen für Spannungen bis zu 1000 V benutzt werden. Die Stärke der Gummihülle und die Anzahl der Drähte ist folgende:

[1]) Verbandsnormalien für Gummiband- und Gummiaderleitungen. E. T. Z. 1907, S. 823 u. 500. E. V., § 19.

Kupferquerschnitt in qmm		1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	
Stärke der Gummischicht in mm	mindestens	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,8	2,0	2,2	usw.
	höchstens	1,1	1,1	1,4	1,4	1,4	1,7	1,7	2,0	2,0	2,3	2,3	2,6	2,6	2,8	3,0	
Mindestzahl der Drähte bei mehrdrähtigen Leitern .		7	7	7	7	7	7	7	7	19	19	19	19	37	37	37	

b) Gummibandleitungen. Gummibandleitungen (Bezeichnung G. B.) müssen ebenfalls bei Querschnitten von mehr als 16 qmm aus mehreren Drähten bestehen. Sie sind jedoch nur in Querschnitten bis zu 150 qmm und nur als Einfachleitungen zulässig. Ihre Kupferseele ist feuerverzinnt, mit Baumwolle umgeben und darüber mit unverfälschtem, technisch reinem, unvulkanisiertem Paraband umwickelt. Die Überlappung der Umwicklung muß mindestens 2 mm betragen. Über der Parabandhülle befindet sich eine

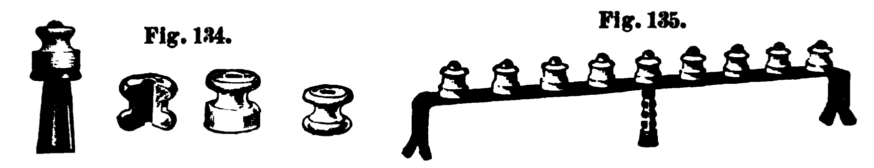


Fig. 134. Fig. 135.

Umwicklung mit Baumwolle und über dieser eine imprägnierte Umklöpplung aus Baumwolle, Hanf oder gleichwertigem Material. Gummibandleitungen dürfen nur für Spannungen bis zu 125 V in trockenen Räumen verwendet werden. Ihr Preis beträgt bei den geringen Querschnitten etwa 60 Proz. und bei größeren Querschnitten bis zu 80 Proz. des Preises der Gummiaderleitungen. Der Unterschied ist so gering, daß sich in den meisten Fällen die Benutzung von Gummibandleitungen wegen der Beschränkungen in der Verwendung nicht empfiehlt.

c) Offene Verlegung. Isolierte Leitungen dürfen entweder offen auf geeigneten Isolierkörpern oder in Rohren verlegt werden[1]). Offen verlegte Leitungen werden an Isolierrollen oder Klemmen aus Porzellan, Glas oder gleichwertigem Material befestigt. Am gebräuchlichsten sind Porzellanrollen (**Fig. 134**), die an einem in die Wand eingeschlagenen oder eingegipsten Eisen- oder Holzdübel festgeschraubt werden und in ihrem Einschnitt den mit Draht festgebundenen Leiter tragen. Wo eine große Zahl von Drähten nebeneinander zu führen ist, verwendet man zum Befestigen der Rollen auch Eisenschienen, die mit Dübeln an der Wand angebracht werden (**Fig. 135**). Die Isolierklemmen (**Fig. 136**) werden in der Regel für Leitungspaare benutzt. Sie bestehen aus zwei Porzellanstücken, die mittels eines Dübels festgeschraubt werden und die Drähte in einiger Entfernung voneinander in Nuten halten.

Fig. 136.



Offen verlegte isolierte Leitungen sollen, wenn sie Spannung führen, mindestens 1 cm von der Wand entfernt gehalten werden. Der Abstand der Befestigungsstellen voneinander soll an Wänden höchstens 80 cm betragen; er kann an Decken ausnahmsweise, den örtlichen Verhältnissen entsprechend,

[1]) E. V., § 21, g, 8 bis 12; § 25.

vergrößert werden. Mehrfachleitungen sollen bei der Befestigung nicht aufeinander gepreßt und nicht mit Metalldrähten festgebunden werden. Wenn ein Zusammenlegen von Leitungen unvermeidlich ist, wie z. B. bei der Führung von Batterieleitungen zum Betriebssaal, dürfen Gummiadern so verlegt werden, daß sie sich berühren. Es muß aber eine Lagenveränderung ausgeschlossen sein.

d) Verlegung in Rohren. Für die verdeckte Führung der Leitungen sind die früher mehrfach verwendeten Holzleisten nicht mehr zulässig. Jetzt werden dazu Rohre[1]) verwendet **(Fig. 137)**, die meistens aus imprägniertem starken Papier mit dünnem Überzug aus Messing oder Eisen bestehen. Sie

Fig. 137.

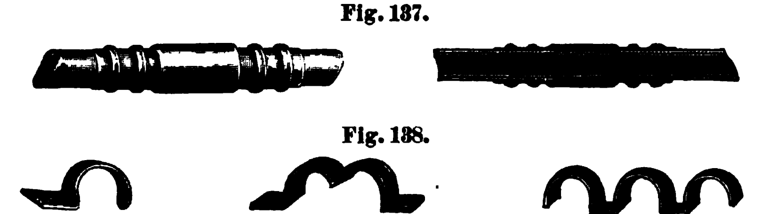


Fig. 138.

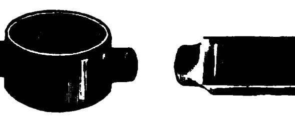
werden in Längen von 3 m mit einer Muffe an einem Ende geliefert. Um Biegungen auszuführen, dienen Ellbogen, Kröpfungsbogen und Übergangsbogen. Krümmungen lassen sich aber auch aus dem gewöhnlichen Rohr mittels einer besonderen Zange herstellen. Der Preis des Rohres beträgt für Durchmesser von 7 bis 36 mm rund 0,3 bis 1,5 ℳ für 1 m.

An Stellen, wo die Anlagen mechanischen Beschädigungen ausgesetzt sind, verwendet man Isolierrohr mit nahtlosem, kräftigem Stahlmantel. Dieses Stahlpanzerrohr trägt an den Enden außen Schraubengewinde und wird mit Gewindemuffen, die sich im Bedarfsfalle auch wasserdicht verschrauben lassen, verbunden. Die Preise des Stahlpanzerrohrs sind mehr als doppelt so hoch wie die des gewöhnlichen Isolierrohrs.

Das Peschelrohr der Firma Siemens u. Halske ist ein geschlitztes Stahlrohr ohne isolierende Auskleidung. Die Verbindungen werden durch übergeschobene Muffen hergestellt. Die Preise stimmen mit den oben angegebenen annähernd überein.



Fig. 139.



Zur Befestigung der Rohre dienen Schellen, die an eingeschlagenen Stahldübeln festgeschraubt werden **(Fig. 138)**. Die Rohre sollen so verlegt werden, daß sich in ihnen kein Wasser ansammeln kann. Die lichte Weite der Rohre sowie die Anzahl und die Halbmesser der Krümmungen sollen in der Regel so gewählt sein, daß man die Drähte einziehen und wieder entfernen kann. Für diesen Zweck werden besondere Dosen oder Kästen eingebaut **(Fig. 139)**. Bei Leitungen von mehr als 16 qmm Querschnitt wird die Auswechselbarkeit nicht gefordert, wenn die Rohre offen verlegt und jederzeit zugänglich sind. Rohre, die für mehr als einen Draht bestimmt sind, sollen im allgemeinen mindestens 11 mm lichte Weite haben, jedoch sind in Schaltanlagen geringere Durchmesser zulässig.

[1]) E. V., § 26.

Drahtverbindungen innerhalb der Rohre sind verboten. In ein Rohr dürfen nur Leitungen verlegt werden, die zu demselben Stromkreise gehören; für Schaltanlagen in Betriebsräumen sind aber Ausnahmen zugelassen. Bei der Errichtung von Gebäuden werden die Rohre des guten Aussehens halber meist unter dem Putz verlegt. Sie dürfen aber dann keine Gummibandleitungen aufnehmen.

In Telegraphen- und Fernsprechanlagen ist die Verlegung der Leitungen in Rohren häufig der freien Führung auf Rollen vorzuziehen. Bei dem geringen Preise des Isolierrohrs sind die Kosten nicht erheblich höher. Die Rohrverlegung hat den Vorteil, daß die Leitungsanlagen besser geschützt sind, leichter durch Wände hindurch nach anderen Räumen geführt werden können und sauberer aussehen. Leitungen in größerer Zahl wird man, wenn sie aus Gummiadern hergestellt sind, zusammenlegen und in Holzkanälen führen. Für starke Leitungen (über 100 qmm) kann man die Kosten der Verlegung und des Befestigungsmaterials mit 2 ℳ für 1 m ansetzen.

2. Blanke Leitungen.

Blanke Leitungen [1]) werden im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe entweder für Erdanschlüsse oder für Zuleitungen in Sammlerräumen benutzt. Sie müssen nach den Verbandsvorschriften mit Rücksicht auf ihre Festigkeit mindestens 4 qmm Querschnitt haben. Leitungen, die durch eine Hülle nur gegen chemische Einflüsse geschützt sind, werden den blanken Leitungen gleichgestellt. Der Preis der Kupferleitungen ist namentlich bei großen Querschnitten sehr vom Marktpreise des Kupfers abhängig. Die Kosten der Verlegung und des Befestigungsmaterials kann man ähnlich wie bei den isolierten Leitungen mit 2 ℳ für 1 m ansetzen.

Fig. 140.



Fig. 142.

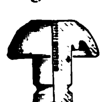


Fig. 141.



Erdleitungen werden ohne weiteres an Gebäuden befestigt oder in die Erde verlegt. Wenn die blanken Leitungen Spannung führen, so dürfen sie nur auf zuverlässigen Isolierkörpern geführt werden. Dünne Leitungen bindet man an einfachen kleinen Porzellanglocken (**Fig. 140**) fest. Die kleinste Type, die für Drähte bis zu 6 qmm geeignet ist, kostet einschließlich der geraden Stützen und der Befestigung etwa 0,20 ℳ. Stärkere Kupferleiter, die meist rechteckigen Querschnitt haben, werden in die Ansätze von Glocken nach **Fig. 141** eingelegt. Befindet sich die Befestigungsstelle oberhalb der Leitungen, z. B. unter Decken, so benutzt man Isolatoren nach dem Muster der **Fig. 142**. Alle Glocken müssen so angebracht werden, daß sich kein Wasser in ihnen ansammeln kann.

Die Leitungen müssen, soweit sie nicht unausschaltbare gleichpolige Parallelzweige bilden, in einem der Spannweite, Drahtstärke und Spannung angemessenen Abstand voneinander und von Gebäudeteilen, Eisenkonstruktionen u. dgl. entfernt sein. Besonders wichtig ist dies bei Batteriezuleitungen, wenn die Sicherungen nicht in unmittelbarer Nähe der Sammler untergebracht werden können. Der Abstand blanker Leitungen voneinander soll

[1]) E. V. § 21, d, e, f, 4, 5; § 25, e; § 31, 2, a.

in der Regel bei Spannweiten von mehr als 6 m etwa 20 cm, bei Spannweiten von 4 bis 6 m etwa 15 cm und bei kleineren Spannweiten etwa 10 cm betragen. Bei Verbindungsleitungen zwischen Sammlern, Maschinen und Schalttafeln und auf Schalttafeln können starke Kupferschienen und starke Kupferdrähte in kleineren Abständen voneinander verlegt werden. Die Befestigungsstellen dürfen dann aber nicht mehr als 1 m voneinander entfernt sein. In feuchten Räumen, zu denen auch die Sammlerräume zu rechnen sind, soll jedoch der Abstand der blanken Leitungen voneinander nicht weniger als 5 cm betragen. Von der Wand oder von Gebäudeteilen sollen die Leitungen etwa 5 cm entfernt sein.

3. Decken- und Wanddurchführungen[1]).

Durch Wände, Decken und Fußböden sind die Leitungen so hindurchzuführen, daß sie gegen Feuchtigkeit, mechanische und chemische Beschädigung sowie Oberflächenleitung ausreichend geschützt sind. Die Durchführungen sollen entweder der in den betreffenden Räumen gewählten Verlegungsart entsprechen, oder es sollen haltbare isolierende Rohre verwendet werden, und zwar für jede einzeln verlegte Leitung und für jede Mehrfachleitung je ein Rohr. In feuchten Räumen sollen entweder Porzellan- oder gleichwertige Rohre verwendet werden, deren Gestalt keine merkliche Oberflächenleitung zuläßt, oder die Leitungen sollen frei durch genügend weite Kanäle geführt werden. Über Fußböden sollen die Rohre mindestens 10 cm vorstehen und gegen mechanische Beschädigungen geschützt sein.

Fig. 143.

Besondere Schwierigkeiten bietet die Durchführung von Leitungen durch die Wände von Sammlerräumen, weil den Säuredämpfen der Zutritt zu anderen Räumen versperrt werden muß. Für diesen Zweck kann man nach dem Muster von **Fig. 143** ein Hartgummirohr von passender Weite in die Wandöffnung hineinschieben und an beiden Seiten Porzellantüllen daraufstecken. Dünnere Leitungen, die in der Regel isoliert sind, werden durch das Rohr hindurchgeführt und an der Eintrittsstelle so mit Isolierband umwickelt, daß die Öffnung verschlossen ist. Für starke Leitungen wird ein Kupferbolzen von passendem Querschnitt vor dem Einschieben des Hartgummirohrs in dieses hineingetrieben. Der Bolzen trägt an den beiden vorstehenden Enden ein Gewinde, das zum Anschrauben der Zuleitungen dient.

4. Leitungsanschlüsse und Abzweigungen[2]).

Anschlüsse von Leitungen und Abzweigungen dürfen nur mittels Lötung, Verschraubung oder gleichwertiger Verbindung hergestellt werden. Mit den Apparaten, Maschinen, Sammelschienen und Stromverbrauchern sollen die Leitungen durch Verschraubung oder gleichwertige Mittel verbunden werden. Schnüre und Drahtseile bis zu 5 qmm und Einzeldrähte bis zu 25 qmm Kupferquerschnitt können mit angebogenen Ösen an die Apparate angeschlossen

[1]) E. V. § 24, d, 1. — [2]) E. V. § 21, i, k, 14, 15.

werden. Die Einzeldrähte der Schnüre und Drahtseile sollen dabei an den Enden miteinander verlötet werden. Für stärkere Querschnitte werden Kabelschuhe **(Fig. 144)** verwendet, die eine röhrenförmige Öffnung zum Einlöten

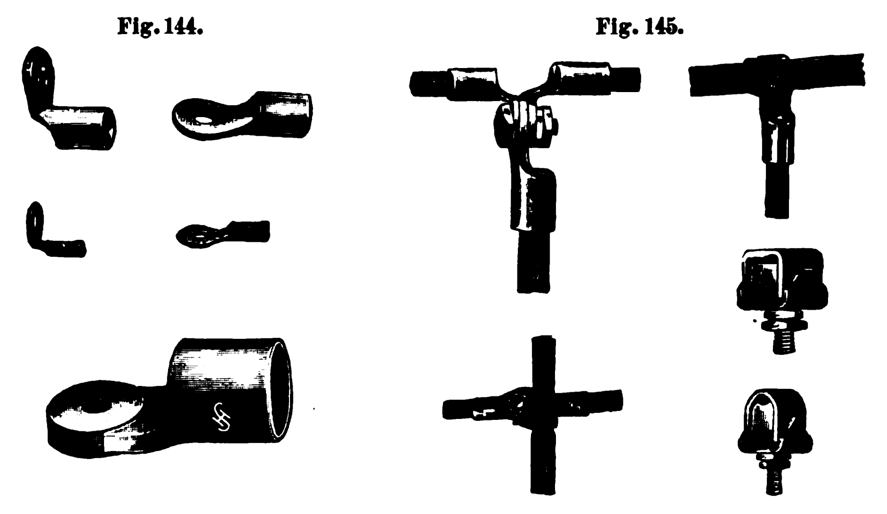


Fig. 144. Fig. 145.

des Leiters und eine Platte zum Festschrauben besitzen. An Abzweigstellen werden die Leitungen entweder zusammengelötet oder durch Abzweigklemmen



Fig. 146.

(Fig. 145) oder Abzweigdosen **(Fig. 146)** verbunden. Die Abzweigstellen in isolierten Leitungen sind in einer der sonstigen Isolierung möglichst gleichwertigen Weise zu isolieren. In Isolierrohren werden für Abzweigungen eiserne Abzweigdosen eingebaut.

II. Beanspruchung der Leitungen.

1. Erwärmung [1]).

a) Isolierte Leitungen. Eine länger (800 bis 1000 Stunden) dauernde Erwärmung isolierter Leitungen über 50° C macht die Gummihülle brüchig. Bei einer Temperatur von 60° sind die Folgen schon nach fünf Minuten wahrzunehmen, und bei 90 bis 95° tritt bereits Veraschung der Isolierhülle ein. Man hat deshalb die höchste Temperatur isolierter Leitungen auf 50° C festgesetzt. Wird die höchste Zimmertemperatur mit 30° angenommen, so ergibt sich eine zulässige Temperaturerhöhung von 20° C. Innerhalb dieser Grenze dürfen isolierte Kupferleitungen mit den Stromstärken belastet werden, die in Spalte 3

[1]) E. T. Z. 1906, S. 332; 1907, S. 475, 499, 514. E. V., § 20.

der unten abgedruckten Zusammenstellung angegeben sind. Aus der Zusammenstellung ergeben sich zugleich die üblichen Leiterquerschnitte und die Arten der zugehörigen Sicherungen, die später noch besonders besprochen

Belastungsfähigkeit von Kupferleitungen.

Querschnitt qmm	Durchmesser bei Runddrähten mm	Höchstzulässige Stromstärke Ampere	Widerstand für 1 m Ohm	Spannungsabfall für 1 m bei voller Belastung nach Spalte 3 Volt	Nennstromstärke der Sicherung Ampere	Grenzstromstärke der Sicherung mit eingeschlossenem Schmelzeinsatz Ampere
1	2	3	4	5	6	7
0,75	0,977	9	0,023 6	0,21	6	9—12
1	1,13	11	0,017 5	0,19	6	9—12
1,5	1,38	14	0,011 6	0,16	10	15—20
2,5	1,79	20	0,007	0,14	15	21—25
4	2,26	25	0,004 4	0,11	20	29—33
6	2,77	31	0,002 9	0,09	25	36—42
10	3,57	43	0,001 7	0,073	35	47—54
16	4,52	75	0,001	0,075	60	80—92
25	—	100	0,000 7	0,07	80	—
35	—	125	0,000 5	0,063	100	—
50	—	160	0,000 35	0,056	125	—
70	—	200	0,000 25	0,05	160	—
95	—	240	0,000 18	0,043	190	—
120	—	280	0,000 15	0,042	225	—
150	—	325	0,000 12	0,039	260	—
185	—	380	0,000 094	0,036	300	—
240	—	450	0,000 073	0,033	360	—
310	—	540	0,000 056	0,03	430	—
400	—	640	0,000 044	0,028	500	—
500	—	760	0,000 035	0,027	600	—
625	—	880	0,000 028	0,024	700	—
800	—	1050	0,000 022	0,023	850	—
1000	—	1250	0,000 017	0,021	1000	—
3,1	2	(29)	0,005 6	0,16	20	29—33
wie 4		25	0,004 4	0,11		
1,8	1,5	(21)	0,01	0,21	15	21—25
wie 2,5		20	0,007	0,14		
0,8	1	(13)	0,022	0,29	(10)	(15—20)
wie 0,75		9	0,023 6	0,21	6	9—12
0,5	0,8	(10)	0,037	0,37	6	9—12
wie 0,75		9	0,023 6	0,21		
0,28	0,6	8	0,062	0,5	6	9—12

werden. Der Querschnitt von 0,75 qmm ist wegen seiner geringen Festigkeit nur in Beleuchtungskörpern zu verwenden. Die Werte gelten für alle Arten von isolierten Leitungen und auch für die im Erdboden verlegten Kabel. Diese gleichmäßige Geltung ist trotz der Verschiedenheiten in der Bauart und Erwärmung der Leitungen eingeführt, weil die Praxis einheitliche Festsetzungen

erforderte. Die Belastungswerte sind nach einer Reihe von Versuchen, die an Gummiaderleitungen angestellt wurden, festgesetzt worden. Für die Querschnitte von 0,75 bis 10 qmm ist die Erwärmung, die bei Verlegung zweier Leitungen (z. B. Hin- und Rückleitung in Beleuchtungsanlagen) in einem Rohre eintritt, zugrunde gelegt. Da diese etwa 30 Proz. stärker ist als bei frei verlegten Einzelleitungen, sind die Belastungen der dünnen Drähte außergewöhnlich niedrig.

Für frei verlegte Gummiadern ist folgende Formel aufgestellt:

$$J^2 = t\,(10\,Q + 2{,}1\,Q^{3/2}),$$

in der J die Stromstärke, t die Temperaturerhöhung (20°) und Q den Kupferquerschnitt bedeutet. Nach dieser Formel gelten für die Belastung der im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe häufig vorkommenden Drahtstärken, wenn Kupfer- und Bronzedraht in der Leitfähigkeit gleichgesetzt werden, die im unteren Teile der Zusammenstellung auf S. 187 angegebenen Werte.

b) Blanke Leitungen. Für die Belastung blanker Leitungen gilt die Formel:

$$J^2 = t\,(3{,}95\,Q + 1{,}72\,Q^{3/2}).$$

Angenommen ist dabei eine normale Oberflächenbeschaffenheit. Neue Leitungen mit blank polierter Oberfläche haben eine stärkere Erwärmung, weil die Ausstrahlung geringer ist. Die Erwärmung ist bei nackten Leitungen stärker als bei isolierten, da der abkühlende Einfluß der Isolierhülle fehlt. Es gelten aber für Leitungen bis zu 50 qmm Querschnitt dieselben Belastungswerte wie bei isolierten Leitungen. Man hat dabei in Betracht gezogen, daß die Querschnitte bis zu 10 qmm bei isolierten Leitungen schwach belastet sind, und daß der Zustand der blanken Leitungen durch eine etwas stärkere Erwärmung nicht verschlechtert wird. Auf Querschnitte über 50 qmm finden die Werte der Tabelle keine Anwendung; die Zuleitungen sind in jedem Falle so zu bemessen, daß sie durch den stärksten normal vorkommenden Betriebsstrom keine für den Betrieb oder die Umgebung gefährliche Temperatur annehmen können. Es ist aber unbedenklich, auch für die stärkeren Leitungen die Belastungen der Zusammenstellung zuzulassen. Unter Umständen wird man sogar darüber hinausgehend eine Temperaturerhöhung von 30° C gestatten und die zugehörigen Belastungswerte nach der Formel berechnen. Starke Kupferschienen werden auch in solchen Querschnitten hergestellt, die für isolierte Leitungen nicht normal sind.

2. Spannungsabfall.

Für die Bemessung der Leitungen ist neben der Rücksicht auf die Erwärmung auch die Größe des Spannungsabfalls, der für bestimmte Verhältnisse zugelassen werden kann, maßgebend. Welcher Abfall in einer Leitung bei der zulässigen Höchstbelastung eintritt, ergibt sich aus Spalte 5 der Zusammenstellung auf S. 187. Mit Bezug auf die von der Batterie zur Verbrauchsstelle führenden Hauptleitungen gelten dieselben Regeln, die für den Spannungsverlust in der Batterie maßgebend sind. Es ist deshalb vielfach von Wichtigkeit, den Spannungsverlust der Leitungen auf ein bestimmtes Maß zu beschränken. Man wird dann den Querschnitt größer wählen, als die Zusammenstellung fordert. Einzelne Beispiele sind im folgenden besprochen.



III. Sicherungen.

1. Zweck.

Wie im vorhergehenden Teil erörtert, wird die Isolation der Leitungen durch übermäßige Strombelastung gefährdet. Erreicht die Stromstärke einen noch höheren Grad, so können die Leitungen bis zum Glühen erhitzt werden und unter Umständen Feuer verursachen. Auch die eingeschalteten Apparate, deren Umwindungen meist dünner sind als die Leitungen, werden durch stärkere Ströme beschädigt. Die Gefahr ist aber für die Apparate nicht sehr groß, weil sie durch ihren Widerstand gegen übermäßige Stromstärken geschützt sind. Dagegen kann bei Störungen die Stromstärke in den Zuleitungen leicht auf das Zehnfache des normalen Wertes steigen, z. B. bei Verbindungen (Kurzschlüssen) zwischen den beiden Polen einer Stromquelle. Namentlich ist diese Gefahr im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe groß, weil sich bei der Eigenart der Einrichtungen blanke Stellen in den Zuleitungen, wie z. B. Klemmen und Abzweigungen, nicht vermeiden lassen.

Man ist daher genötigt, Schutzeinrichtungen zu verwenden, die

1. eine Schädigung der Anlagen durch unzulässig hohen Strom verhüten und
2. einen schadhaft gewordenen Teil in kürzester Zeit abschalten.

Für diesen Zweck werden Selbstschalter oder Abschmelzsicherungen verwendet. Selbstschalter sind im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe für die Verbrauchsleitungen nicht üblich; für Ladekreise werden sie als Überstromschalter nur selten benutzt. Dagegen wird von Abschmelzsicherungen in größerem Maße Gebrauch gemacht. Häufig schaltet man in die Leitungen außer den Sicherungen noch Sicherheitswiderstände, die jedes Ansteigen der Stromstärke über einen bestimmten Wert verhüten. Für die Hauptleitungen eignen sich die Sicherheitswiderstände nur unter bestimmten Verhältnissen, weil sie gewissermaßen den inneren Widerstand der Batterie erhöhen und dadurch Schwankungen in der Klemmenspannung hervorrufen. In den Zweigleitungen haben sie den Nachteil, daß sie Energie verzehren.

2. Eigenschaften der Schmelzsicherungen [1]).

a) Grenzstrom. Die Wirkungsweise der Schmelzsicherungen beruht auf dem Durchschmelzen eines in die Leitung eingeschalteten Metallstückes und der dadurch bewirkten Abtrennung des fehlerhaften Leitungsteils. Wie jeder stromführende Leiter erfährt der Schmelzeinsatz eine Erwärmung, die dem Quadrate der Stromstärke entspricht. Überschreitet die Stromstärke nun eine gewisse Grenze, so wird der Sicherungsdraht so stark erhitzt, daß ein Teil herausschmilzt. Die Schmelztemperatur beträgt bei Silber und Kupfer etwa 1000° C, bei Blei etwa 140° C. Die äußerste Stromstärke, die eine Schmelzsicherung noch dauernd erträgt, nennt man ihren Grenztrom.

b) Schmelzzeiten, Schmelzkurven, Trägheit. Die Zeit, die nach der Überschreitung der Grenzstromstärke noch zum Durchschmelzen einer Sicherung erforderlich ist, hängt ab von der Geschwindigkeit, mit welcher

[1]) E. T. Z. 1906, S. 331; 1907, S. 430, 460, 1136, 1158.

der Schmelzdraht auf die Schmelztemperatur gebracht wird. Dabei kommt einerseits die Stromstärke und andererseits die Möglichkeit der Abkühlung in Betracht. Die Abhängigkeit der Schmelzzeiten von der Stromstärke ist in **Fig. 147** für folgende Arten von Sicherungen veranschaulicht:

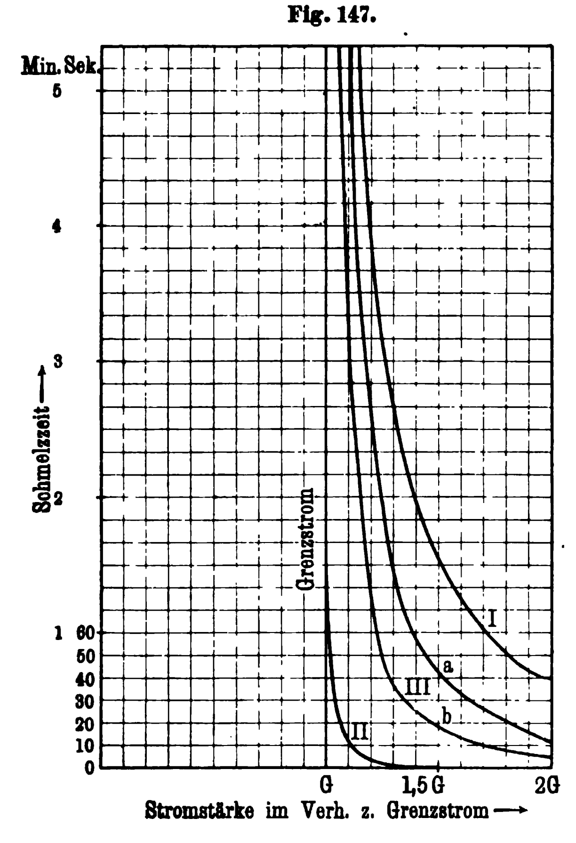
I. Freier starker Zinkdraht.

II. Silberdraht in Glasröhre (Reichs-Telegraphenverwaltung);
1. für Telegraphenbatteriezuleitungen, Grenzstrom 3,5 A;
2. für Fernsprechzwecke, Grenzstrom 3 A.

III. Feinsicherungspatronen der Reichs-Telegraphenverwaltung;
a) für Telegraphenbatteriezuleitungen, Grenzstrom 0,18 A;
b) für Fernsprechleitungen gegen Starkstrom, Grenzstrom 0,16 A.

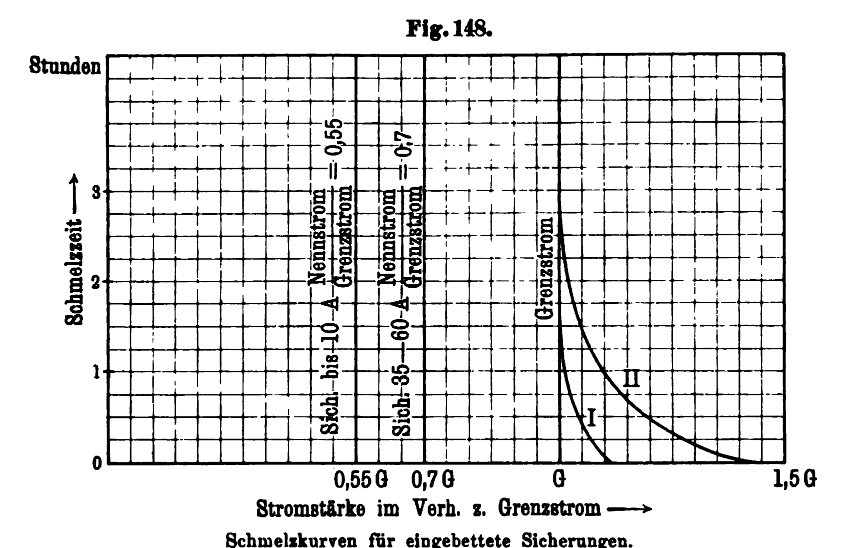
Man ersieht daraus, daß bei geringer Überschreitung der Grenzstromstärke G der Erwärmungs- und Schmelzvorgang unter Umständen sehr lange dauert und daß bei einer merklichen Überschreitung der Grenzstromstärke, z. B. um die Hälfte, die Schmelzzeiten bedeutend kürzer werden. Die Figur enthält zwei Schmelzkurven I und II für frei ausgespannte Drähte, von denen der erstere bedeutend träger abschmilzt als der zweite, obgleich beide denselben Grenzstrom haben. Die Verschiedenheiten in der Schmelzzeit ergeben sich aus dem Material, der Masse und der Form der Schmelzeinsätze. Die Trägheit verhält sich z. B. bei Kupfer, Silber und Blei wie 1 : 1,7 : 6. Hat ein Einsatz kreisförmigen Querschnitt, so ist die Oberfläche, welche Wärme ausstrahlt, verhältnismäßig gering, während z. B. ein rechteckiger Querschnitt eine bessere Ausstrahlung und größere Trägheit bewirkt. Von großer Bedeutung ist auch die Umgebung des Schmelzeinsatzes. Eingeschlossene Drähte erwärmen sich meist sehr langsam, weil die Kapsel oder die Füllmasse einen großen Teil der Wärme aufnehmen. Die Trägheit der eingeschlossenen Schmelzdrähte von Stöpselsicherungen ergibt sich deutlich aus **Fig 148,** in der die Zeiten in Stunden angegeben sind, während Fig. 147 die Schmelzzeiten der freien Drähte in Minuten angibt.

Fig. 147.



Durch passende Auswahl des Materials, der Form und der Anordnung hat man es also in der Hand, die Abschmelzzeiten zu regeln. Von den Metallen werden nur solche zu Sicherungseinsätzen benutzt, die nicht durch Oxydation ihren Querschnitt ändern. Früher bestanden die Einsätze meist aus Blei. Jetzt stellt man jedoch mit Rücksicht auf die große Empfindlichkeit der Glühlampen die Schmelzdrähte für geringe Stromstärken meist aus Silberdraht her. Blei und seine Legierungen werden aber noch für große Sicherungen verwendet. Träge Sicherungen eignen sich besonders gut zur Sicherung von Hauptleitungen, weil sie selbst bei hohen Kurzschlußströmen nicht mit den empfindlicheren Sicherungen der Verteilungsleitungen zugleich durchbrennen können. Da auch die Leitungen eine sekundenlange Überschreitung ihres in

Fig. 148.



Schmelzkurven für eingebettete Sicherungen.

I. Sicherungen bis zu 10 A mit einem mittleren Verhältnis von Nennstrom zu Grenzstrom = 0,55.

II. Sicherungen von 35 bis 60 A mit einem mittleren Verhältnis von Nennstrom zu Grenzstrom = 0,7.

der Zusammenstellung angegebenen Grenzstromes noch gut ertragen, ohne sich zu erwärmen, müssen die Sicherungen dieser Anforderung ebenfalls entsprechen. Für gewisse Betriebsarten muß eine gewisse Trägheit der Sicherungen verlangt werden, z. B. können beim Anlassen von Elektromotoren die Stromstärken zeitweise den Normalstrom um ein Drittel übersteigen. Im Fernsprechbetriebe werden vielfach die Rufmaschinen ohne Anlasser in Gang gesetzt. Der Anfangsstrom beträgt dabei oft das Dreifache des Normalstromes. Ebenso wie die Maschinen und Leitungen müssen daher auch die Sicherungen zeitweise eine Überlastung ertragen, aber bei länger andauernder Überschreitung der für die Maschinen zulässigen Stromstärke, z. B. infolge Festsitzens des Ankers, durchschmelzen. Es sind danach für solche Zwecke träge Sicherungen zu benutzen.

c) **Nennstrom.** Die Grenzstromstärke der Sicherungen muß der höchstzulässigen Stromstärke der Leitungen entsprechen. Da es aber bei der

Fabrikation sehr schwierig ist, die Grenze genau innezuhalten, hat man in den Verbandsvorschriften nicht den Grenzstrom der Sicherungen, sondern 80 Proz. davon zur Benennung der Sicherungen für bestimmte Leiterquerschnitte festgelegt, indem man annahm, daß die normale Belastung der Leitungen in der Regel 80 Proz. der Höchstbelastung nicht übersteigt. Der Nennstrom muß auf allen Sicherungen angegeben sein. Nach den Verbands-Normalien für Sicherungen [1]) müssen deshalb die Sicherungen eine Überlastung um mindestens 25 Proz. über den Nennstrom dauernd aushalten. Eine obere Grenze für die Überlastungsfähigkeit ist nicht festgesetzt; sie wird aber 25 Proz. nicht erheblich übersteigen. Bei den schwächsten Leitern von 0,75, 1 und 1,5 qmm sind die Nennstromstärken der Sicherungen noch niedriger festgesetzt, und zwar mit Rücksicht einerseits auf die Abstufung des bereits früher vorliegenden Sicherungsmaterials und andererseits darauf, daß die schwachen Drähte in der Praxis häufig stark beansprucht und unter ungünstigen Bedingungen verlegt werden. In den meisten Fällen decken sich die neuen Werte mit den alten. Die Nennstromstärken sind in Spalte 6 der Zusammenstellung auf S. 187 angegeben. Spalte 7 enthält außerdem die Grenzstromstärken der Sicherungen mit eingeschlossenen Einsätzen für Nennströme bis zu 60 A. Bei diesen ist ein größerer Unterschied zwischen Nennstrom und Grenzstrom zugelassen. Das Verhältnis soll betragen

bei einem Nennstrom	bis 10 A:	0,5	bis 0,65,
" " "	von 15 " 25 ":	0,6	" 0,7 ,
" " "	" 35 " 60 ":	0,65	" 0,75.

Die Grenzstromstärken, die sich daraus ergeben, sind in Spalte 7 der Zusammenstellung berechnet. Wie man sieht, ist bei den schwächsten Leitungen die Herabsetzung der Sicherungsstärke dadurch wieder ausgeglichen, daß die Überlastungsfähigkeit vergrößert worden ist. Auch bei den stärkeren Querschnitten können zum Teil merkliche Überschreitungen der für die Leitungen festgesetzten Höchstbelastungen vorkommen. Binnen welcher Zeit eine eingebettete Sicherung durchschmelzen soll, ist in den Normalien nicht genau festgesetzt. Für die Prüfung der Sicherungen ist nur bestimmt, daß sie den unteren Grenzstrom mindestens 4 Stdn. lang und den oberen höchstens 4 Stdn. lang aushalten. Man kann aber annehmen, daß die Fabrikation sich an die früheren Vorschriften, nach denen eine Sicherung bei Belastung mit dem Doppelten der Nennstromstärke binnen 2 Min. durchbrennen sollte, anlehnen wird. Einen Anhalt für die Ermittelung der Schmelzzeiten bietet Fig. 148, S. 191. — Darin ist nach den Eigenschaften der früheren Sicherungen für Stromstärken bis 10 A der Nennstrom zu 55 Proz. des Grenzstromes und für Sicherungen von 35 bis 60 A der Nennstrom zu 70 Proz. des Grenzstromes angenommen.

3. Bauart der Schmelzsicherungen.

a) Sicherungen mit frei in der Luft liegendem Schmelzeinsatz [2]).

α) Freie Streifen. Die in der Starkstromtechnik gebräuchlichen Sicherungen enthalten entweder frei an der Luft liegende oder eingebettete Schmelzeinsätze. **Fig. 149** stellt freie Schmelzsicherungen dar. Auf einer Schiefer- oder Marmor-

[1]) E. T. Z. 1908, S. 440. — [2]) E. V., § 14.

platte sitzen zwei Kontaktbacken mit je zwei Schrauben. Davon dienen die inneren zum Festklemmen des Einsatzes und die äußeren zum Anschluß der Leitungen. Durch verschiedenartigen Abstand der Klemmstücke je nach der Stromstärke verhütet man in der Regel das Einschrauben unrichtiger Einsätze. Die Einsätze müssen zwei Kontaktstücke aus nichtplastischem Material haben, damit ein zuverlässiger Kontakt ohne Beschädigung des Einsatzes hergestellt werden kann. Der schmelzbare Teil besteht aus Blei, Britanniametall (1 Tl. Antimon, 6 Tle. Zinn) oder Silberdraht. Dr. P. Meyer[1]) verwendet für niedrige Stromstärken bis zu 165 A versilberte oder vernickelte Kupferdrähte oder Zinn- oder Aluminiumdrähte und für die größten Formen gestanzte Aluminiumbleche. Zink und Aluminium schmelzen langsamer als Kupfer und Silber und eignen sich daher für solche Betriebsarten, wo stoßweise Überlastungen vorkommen.

Beim Durchschmelzen der offenen Sicherungen entstehen, namentlich wenn die Masse des Einsatzes groß ist, Metallgase, die heftig nach allen

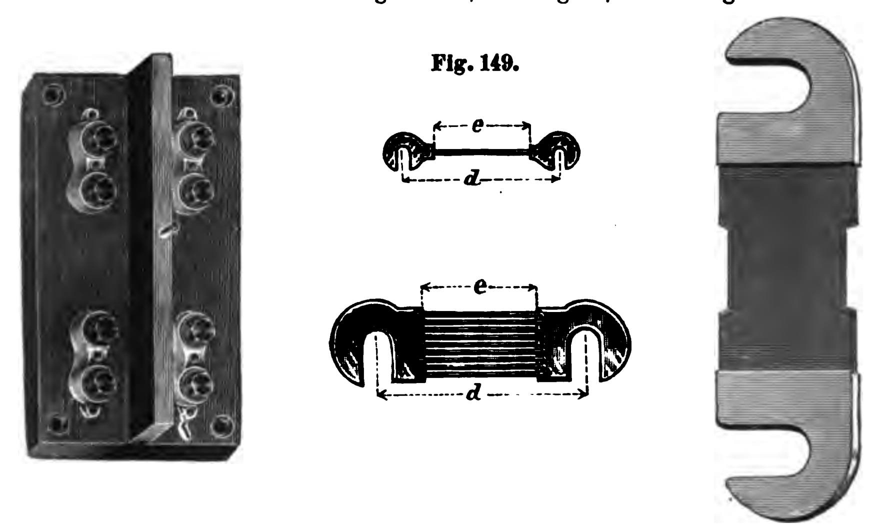


Fig. 149.

Seiten geschleudert werden. Die Sicherungen werden meist mit einer Kappe aus Lackpappe oder Isolierstoff, die den Gasen aber den Austritt nach zwei Seiten gewährt, überdeckt. Es dürfen deshalb an solchen Stellen keine Apparate oder gar brennbare Stoffe untergebracht werden. Wegen der Metallgase ist die Verwendung der offenen Sicherungen in der Regel auf die Maschinenräume beschränkt.

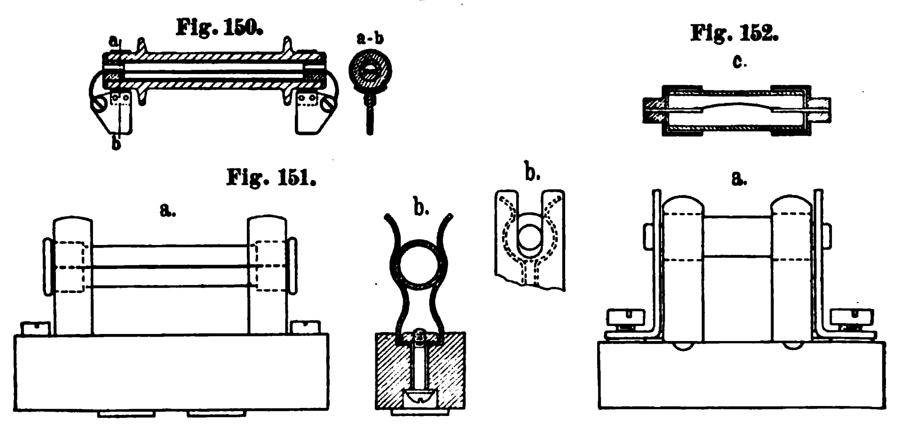
Eine Sicherung darf nach dem Durchschmelzen nicht durch einen Draht überbrückt werden. Im Notfalle lassen sich aber die im Fernsprechbetriebe üblichen Kupferadern von 0,6 und 0,8 mm Durchmesser, die eine Abschmelzstromstärke von 40 bzw. 65 A haben, an Stelle von Sicherungen mit 25 und 60 A Nennstrom verwenden. Kupferdraht von 1 mm Durchmesser schmilzt bei 85 A und hat danach eine Nennstromstärke von 60 A.

Lamellen. Wie für hohe Stromstärken verwendet man freie Schmelzstreifen auch für schwache Ströme von 2 bis 10 A. In der Regel sitzen sie

[1]) E. T. Z. 1907, S. 430, 460, 1137, 1158.

in Dosen mit abschraubbarem Deckel, in Dosenschaltern oder Anschlußdosen. Der lamellenförmige Schmelzeinsatz besteht aus einem Stanniolblättchen oder einem feinen Silberdraht mit Pappunterlage. Die Anschlußkontakte werden aus Kupfer oder Messing hergestellt. Die Stanniollamellen kosten nur 2,5 bis 10 Pfg., die Silberdrahtsicherungen 5 bis 10 Pfg.

β) Röhrensicherungen. Allgemein übliche Typen. Um die beim Durchschmelzen der freien Sicherungen auftretenden Metalldämpfe unschädlich zu machen und mechanische Beschädigungen dünner Drähte zu verhüten, schließt man vielfach den Einsatz in eine Röhre von Adtschem Isolierstoff, Porzellan oder Glas ein. Derartige Sicherungen unterscheiden sich von den vollkommen freien in ihrem Wesen nur dadurch, daß sie wegen der kühlenden Wirkung des Mantels um ein geringes träger sind. Sie werden für Stromstärken von 10 bis 400 A hergestellt. Die Einschaltung erfolgt entweder wie bei den Streifensicherungen durch Anschrauben oder durch Einsetzen der Röhren zwischen Kontaktfedern **(Fig. 150).**



Röhrensicherungen im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe. Die Reichs-Telegraphenverwaltung verwendet Röhrensicherungen mit 3,5 A Grenzstromstärke zum Schutze der Hauptzuleitungen von Telegraphenbatterien. Ihre Schmelzzeiten, die in Fig. 147 auf S. 190 durch die Schaulinie II dargestellt werden, sind sehr kurz. Der Widerstand beträgt 0,1 bis 0,2 Ohm. Die Sicherung wird im Betriebssaal eingeschaltet und brennt leichter durch als die in der Nähe der Batterie eingeschalteten trägeren Sicherungen, die überdies höhere Stromstärken haben. Es ist auf diese Weise ein schneller Ersatz der Sicherungen an der Stelle, wo der Fehler zuerst bemerkt wird, ermöglicht. Die Sicherung hat eine Glasröhre, die an beiden Enden ausgekittet und mit Kupferkappen abgeschlossen ist **(Fig. 151).** Zwischen den Kappen ist ein beiderseitig angelöteter Silberdraht ausgespannt. Die Röhre wird mit den Kupferkappen zwischen zwei auf einem Porzellansockel sitzende Federpaare gesteckt.

Für Fernsprechzwecke wird eine ähnliche Sicherung verwendet **(Fig. 152).** Um den Widerstand des Schmelzfadens, der nach den Erörterungen auf S. 39 ebenso wie der Batteriewiderstand Störungen verursachen kann, zu ermäßigen, ist der Silberdraht kurz und an zwei starke Drähte an-

gelötet, die ihn mit den Messingkappen verbinden. Diese tragen zapfenförmige Ansätze, die in zwei neben den Kontaktfedern stehende Messingstücke mit passenden Ausschnitten hineingreifen (Fig. 152 b). Die Weite der Ausschnitte und die Stärke der Zapfen sind für die Grenzstromstärken von 1, 2, 3, 5, 6 und 8 A verschieden groß, so daß Verwechslungen nicht vorkommen können.

Die Widerstände der Fernsprechsicherungen betragen für die angegebenen Stromstärken nur 0,14 —, — 0,06 —, — 0,05 —, — 0,023 —, — 0,021 und 0,014 Ohm. Durch die Verkürzung des Schmelzfadens ist aber bei höheren Spannungen eine Lichtbogenbildung zwischen den starken Drähten ermöglicht. Die Sicherungen dürfen deshalb nur für die im Fernsprechbetriebe üblichen Spannungen bis zu etwa 50 V benutzt werden. Die Schmelzlänge beträgt dann nur wenige Millimeter. Die Schmelzzeiten entsprechen der Schaulinie II in Fig. 147 auf S. 190, sind also sehr kurz.

b) Eingebettete Sicherungen. *α*) Allgemeines. Die Röhrensicherungen haben, wie die offenen Sicherungen, den Nachteil, daß die Anschlüsse frei liegen. Durch zufällige Berührung können daher Kurzschlüsse und bei höheren Spannungen Lichtbogen sowie unheilvolle Stromübergänge in den menschlichen Körper entstehen. Um diese Übelstände bei den Sicherungen, die zu Hausinstallationen benutzt werden, zu beseitigen, hat man alle Metallteile eingeschlossen. Der Schmelzdraht, der meist aus Silber besteht, liegt in einem zylindrischen Porzellankörper und ist in Sand, Schmirgel, Gips oder Asbest eingebettet. Dadurch wird sogar bei hohen Spannungen das Entstehen eines Lichtbogens unmöglich gemacht. Eine Folge der Einbettung ist ferner die große Trägheit, die sich aus Fig. 148 auf S. 191 ersehen läßt. Der Widerstand des Silberdrahtes, der durchschnittlich für Sicherungen zu

0,5	1	2	4	6	10	15	20	A
0,7	0,2	0,1	0,06	0,04	0,02	0,01	0,006	Ohm

beträgt, macht sich unter Umständen schon im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe bemerklich.

Die Stöpsel oder Patronen aus Porzellan werden durch Einschrauben in Porzellanuntersätze eingeschaltet. Damit beim Einsetzen von unkundiger Hand eine Gefährdung der Leitungen durch Einschaltung von Sicherungen für zu hohe Stromstärken ausgeschlossen ist, müssen die Sicherungen von 6 bis zu 30 A aufwärts unverwechselbar sein. Für Stromstärken unter 6 A soll die Unverwechselbarkeit nicht gefordert werden. Ebensowenig ist sie für elektrische Betriebsräume vorgeschrieben. In den Schaltanlagen der Telegraphen- und Fernsprechanstalten empfiehlt es sich jedoch, nur unverwechselbare Sicherungen zu verwenden.

β) Stöpselsicherungen der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft. Die **Fig. 153** stellt den Sicherungsstöpsel der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin dar. Er wird in drei Größen ausgeführt. Davon ist die erste mit kleinem Gewinde für Stromstärken von 0,5 bis 10 A, die zweite mit normalem Gewinde für 2 bis 40 A und die dritte mit großem Gewinde für 6 bis 60 A eingerichtet. Der silberne Schmelzdraht ist einerseits an das aufgesetzte Messinggewinde und andererseits an eine unten befindliche Kontaktscheibe angelötet. Der Stöpsel wird durch Einschrauben in ein Siche-

rungselement **(Fig. 154)** in die Leitung eingeschaltet. Das Element hat einen Unterteil mit einem Muttergewinde, das mit dem Stöpselgewinde Kontakt macht, und einer Kontaktschiene, die mittels einer Kontaktschraube den An-

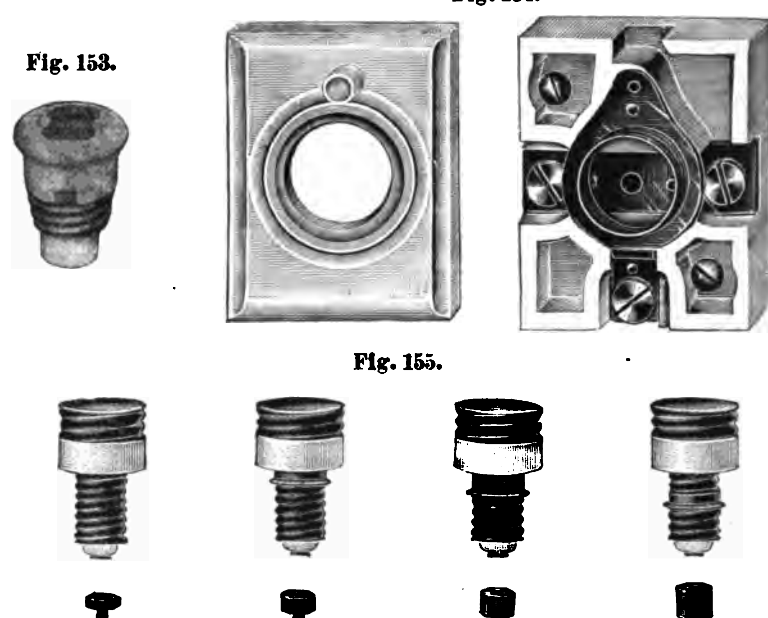


Fig. 153. **Fig. 154.**

Fig. 155.

schluß an den Bolzen des Stöpsels herstellt. Die Schraube wird nachträglich angebracht. Ihre Höhe nimmt mit der Stromstärke des einzuschraubenden Stöpsels zu. Die Kontaktstücke der Stöpsel haben ebenfalls verschiedene Länge, die mit der Stromstärke abnimmt. Wenn man nun versucht, in ein Sicherungselement einen Stöpsel für zu hohe Stromstärke einzuschrauben, so stößt der Porzellanrand des Stöpsels auf den Rand des Elements, bevor der Kontaktbolzen die Kontaktschraube berührt hat. Die Begrenzung erfolgt bei älteren Mustern nicht durch den Rand, sondern durch einen auf das Stöpselgewinde aufgelöteten Ring **(Fig. 155)**, und bei dem großen Stöpsel durch einen über die Kontaktfläche hinausreichenden Porzellanrand des Stöpsels. Auf diese Weise wird entsprechend den Verbandsvorschriften das Einsetzen von stärkeren Sicherungen verhütet.

Fig. 156.

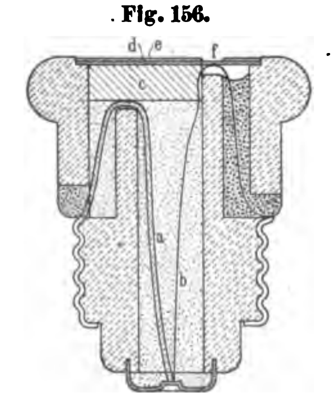


Fig. 156 zeigt den Querschnitt durch einen Normalstöpsel. Zwei Sicherungsdrähte a, die zur Vermeidung von Lichtbogenbildung auf einem Umwege (in der Figur links angedeutet) geführt sind, verbinden die Kontaktplatte am Boden mit dem Schraubengewinde. Der Innenraum des Stöpsels ist mit Sand ausgefüllt und oben durch Asbestmasse c abgeschlossen. Dar-

über liegt zunächst eine Glimmerscheibe *d* und dann ein vernickeltes Messingblech *e* mit einer kleinen fensterartigen Öffnung *f*. Außer den beiden Hauptdrähten ist noch ein Nebendraht *b*, bestehend aus einem sehr dünnen Messingstreifen, vorhanden. Er ist nach der anderen Seite hin an das Schraubengewinde angeschlossen und in seinem letzten Teile mit Kitt umgeben. Der frei liegende obere Teil kann durch das Fensterchen *f* gesehen werden und dient als Anzeiger für das Durchbrennen der Sicherung. Sobald nämlich die Hauptdrähte abgeschmolzen sind, brennt der Kenndraht in seinem freien Teile ebenfalls durch und schwärzt dabei das vor dem Fensterchen liegende

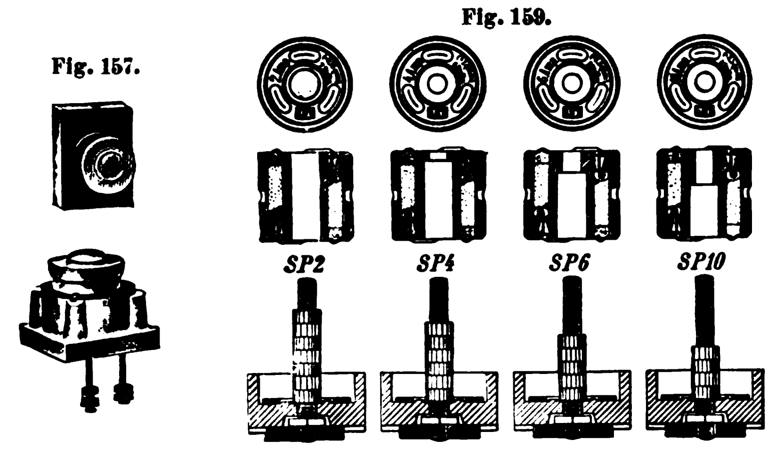


Fig. 157. Fig. 159.

Glimmerstück. Bei älteren Mustern hat der Unterbrechungsmelder eine andere Anordnung. Vor dem runden Loche des Deckels liegt ein Fiberkörper, den eine dagegendrückende feine Spiralfeder durch die Öffnung nach außen zu schieben sucht. Er wird aber von dem durchgesteckten Nebendraht festgehalten. Erst wenn dieser unterbrochen wird, kann der Körper nach außen treten und sowohl mit dem Auge als auch im Halbdunkel mit der Hand wahrgenommen werden.


Fig. 158.

γ) Siemens-Schuckert-Patronen. Ähnlich wie die A. E. G.-Stöpsel sind die Patronen P_I der Siemens-Schuckertwerke gebaut. Über eine Porzellanpatrone wird ein Porzellandeckel mit Metallgewinde geschoben; das Gewinde stellt beim Einschrauben in einen Untersatz den Kontakt mit der einen Leitungszuführung her; gegen die zweite Zuleitung wird der untere Kontakt der Patrone gepreßt. Er hat je nach der Stromstärke verschiedenen Durchmesser und sichert dadurch, daß er durch einen Einsatzring mit passender Öffnung hindurchgreifen muß, die Unverwechselbarkeit. Die P_I-Patronen werden für 0,5, 1, 2, 4, 6 und 10 A hergestellt.

Am gebräuchlichsten sind die *S*-Sicherungen der Firma mit Nennstromstärken von 2 bis 40 A. Sie haben Sockel nach **Fig. 157.** Die Porzellanpatrone (**Fig. 158**) hat an den beiden Stirnseiten Kontaktbleche und im

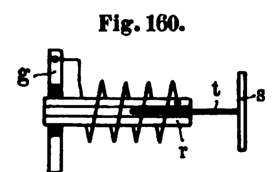
Innern Kanäle, durch die der Schmelzdraht auf Umwegen geführt ist (**Fig. 159**). Er wird mit Ausnahme eines kleinen freien Stückes, in dem das Durchschmelzen erfolgt, in Gips eingebettet. Ein parallel zum Schmelzdraht geschalteter Nebendraht ist durch die viereckige Öffnung aus der Patrone herausgeführt und läßt erkennen, ob die Sicherung durchgeschmolzen ist. Die mittlere Durchbohrung der Patrone ist unten so erweitert, daß die auf den Bolzen (Fig. 159) aufgesetzten Isolierscheiben (Stellmuttern) hineintreten können. Die Zahl der Scheiben und ebenso die Länge der erweiterten Ausbohrung nimmt mit der Stromstärke ab. Dadurch wird verhütet, daß Sicherungen für höhere als die festgesetzte Stromstärke eingeschaltet werden können.

Der parallel geschaltete Kenndraht hat einen so großen Widerstand, daß er bei niedrigen Spannungen, z. B. 10 oder 20 V, selbst im Falle eines Kurzschlusses nach dem Abschmelzen des Hauptdrahtes nicht sicher unterbrochen wird, weil sein Strom den Schmelzwert nicht erreicht. Diese Erscheinung erschwert beim Versagen des Betriebsstromes die Auffindung des Fehlers, da weder durch Besichtigung noch durch Spannungsmessung eine Unterbrechung festgestellt werden kann. Um diesen Übelstand zu vermeiden, liefert die Firma für niedrige Spannungen besondere Patronen, bei denen der Kenndraht fehlt und an seiner Stelle der Hauptdraht nach außen geführt ist. Für Sicherungen mit mehr als 20 A Stromstärke wird jedoch ein silberner Kenndraht mit geringem Widerstande verwendet. Wenn der Hauptdraht nach außen geführt ist, wird die Trägheit der Sicherungen verringert; ihre Schmelzlinien nähern sich dann denjenigen der offenen Sicherungen.

Für Stromstärken von 30 bis 100 A bauen die Siemens-Schuckertwerke die S i c h e r u n g P_{III}, die ähnlich wie die *S*-Sicherung eingerichtet ist. Sie eignet sich für kleine Verteilungsschalttafeln an solchen Stellen, wo die Feuererscheinungen der Streifensicherungen Schaden anrichten können. Die Sicherung wird zwischen zwei Metallkontakte gepreßt und mit einer isolierenden Schutzkappe abgedeckt.

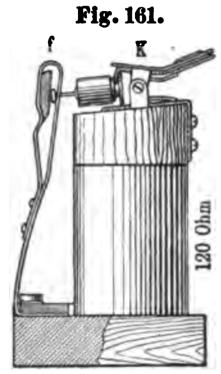
c) **Feinsicherungen der Reichs-Telegraphenverwaltung.** Die geringste Stromstärke der Sicherungen mit Schmelzeinsätzen beträgt 0,5 A. Um die empfindlichen Umwindungen der Apparate gegen Starkstrom zu schützen, schaltet die Reichs-Telegraphenverwaltung in die Leitungen Feinsicherungen ein, die schon bei geringerer Stromstärke den Stromweg unterbrechen. Dieselbe Art von Sicherungen wird auch für die Batteriezuleitungen zu den Telegraphenapparaten benutzt. Die gewöhnlichen Starkstromsicherungen haben 25 Ohm und die Batteriesicherungen 13 Ohm Widerstand. Der verhältnismäßig große Widerstand verbietet für viele Fälle die Benutzung der Sicherungen in den Batteriezuleitungen des Fernsprechbetriebes. Die Einrichtung der Sicherung zeigt **Fig. 160.** Der Metallkörper *r* trägt eine isolierte Wicklung, die von einem, in der Figur fortgelassenen Metallmantel umkleidet ist. Die Wicklung ist einerseits an den Körper *r* und andererseits an einen isoliert aufgesetzten Metallring *g* angeschlossen. In das andere ausgebohrte Ende von *r* ist ein Stift *t* eingelötet, an dessen freiem Ende eine Scheibe *s* sitzt. Als Lötmaterial dient Woodsches Metall, bestehend aus 15 Tln. Wismut, 4 Tln. Zinn, 8 Tln. Blei und 3 Tln. Kadmium.

Fig. 160.



Die Legierung schmilzt bei etwas über 70°. Die Sicherung wird mit ihrer Scheibe *s* in die Feder *f* eingesetzt und durch *K* festgeklemmt **(Fig. 161)**[1]) und so in die Leitung eingeschaltet. Die Feder *f* hat das Bestreben, den Stift aus der Patrone herauszureißen. Erreicht nun der durch die Patrone fließende Betriebsstrom eine unzulässige Stärke, so erwärmt sich die Wicklung und bringt das Lötmetall zum Schmelzen. Durch Herausreißen des Stiftes wird dann der Stromweg getrennt. Bei einem neueren Muster trägt der Stift statt der runden Scheibe einen Stern, in dessen Zähne die Feder eingreift. Beim Erweichen des Lötmetalls dreht die gespannte Feder Stern und Stift, bis sie frei kommt, wodurch der Stromweg unterbrochen wird. Durch diese Anordnung ist ohne weiteres die Wiederverwendung der Patronen ermöglicht. Es ist nur nötig, die Feder wieder hinter einen Zahn des Sterns zu bringen.

Fig. 161.



Aus der Einrichtung der Feinsicherungen ergibt sich schon, daß sie eine im Verhältnis zu ihrer Empfindlichkeit sehr große Trägheit besitzen müssen. Die Schaulinien III a und b in Fig. 147 auf S. 190 bestätigen dies. Da aber die Telegraphenapparate für kurze Zeit ebenfalls einen etwas stärkeren Strom ertragen und Stromerhöhungen im Betriebe nicht zu vermeiden sind, passen sich die Feinsicherungen sehr gut den Betriebsverhältnissen an. Um beim Abschmelzen einer Feinsicherung auch ein hörbares Zeichen zu geben, kann man von der zurückschnellenden Feder ein Kontaktpaar schließen und einen Wecker einschalten lassen.

IV. Leitungs- und Sicherungsanlagen.

1. Hausanschlüsse, Maschinenzuleitungen.

Die Leitungsanlagen zerfallen in drei Teile: 1. den Anschluß an das Starkstromnetz, 2. die Batteriezuleitungen und 3. die Betriebszuleitungen.

Den Anschluß an die auf der Straße entlang geführten Starkstromleitungen stellt das Elektrizitätswerk her, und zwar entweder für Rechnung des Bestellers, in dessen Besitz dann die Zuleitung übergeht, oder bei größerem Bedarf auch auf eigene Kosten unter Einziehung einer kleinen Beisteuer. Die Leitungen endigen meist in den Kellerräumen an Abzweigklemmen, die zum Anschluß der Hausleitungen dienen. In die Einführungsleitung werden in der Regel ein mietsweise überlassener Zähler, die Sicherungen und ein Ausschalter eingeschaltet.

Von den Endklemmen läßt der Abnehmer Verbindungen mit der Maschine oder Schalttafel herstellen. Die Elektrizitätswerke nehmen diese Anlagen ab; sie haben über deren Einrichtung häufig besondere Bestimmungen erlassen. Die Stärke des Leiterquerschnitts richtet sich nach der Stromstärke und ergibt sich aus der Zusammenstellung auf S. 187. Wenn aber die Zuleitung so lang ist, daß der Spannungsabfall mehr als 2 oder 3 Proz. der Gesamt-

[1]) Über die Bedeutung des Zusatzwiderstandes wird später unter IV. 3., *b*, *α* gesprochen werden.

spannung beträgt, wird man einen entsprechend stärkeren Querschnitt wählen. Für Stromkreise, die nur eine Verbrauchsstelle zu speisen haben, oder die Veränderungen in der Spannung ertragen, kann aber auch ein größerer Spannungsabfall zugelassen werden. Die Zuleitungen werden in der Regel zum Schutz gegen Beschädigungen in Rohre verlegt.

2. Batteriezuleitungen.

a) Schutz der Kupferleiter. Bei der Verbindung der Leitungen mit den Sammlern müssen besondere Vorsichtsmaßregeln angewendet werden, um die Kupferleitungen vor dem Angriff verspritzter und hoch kletternder Säureteilchen zu schützen. Die Enden der Leitungen werden nämlich durch die Säureschicht zu Teilen der Elektroden gemacht und unterliegen denselben Einwirkungen wie die Platten und die ebenfalls benetzten Polfahnen und Polleisten. Während sich an der negativen Seite keine besonderen Folgen zeigen, tritt an der positiven eine starke Oxydation ein, die an den Leiterenden dicke grüne Kristallwulste bildet. Die Gefahr dieser Erscheinung besteht einerseits in der Schwächung des Querschnitts und andererseits darin, daß die Kristalle leicht in die Sammler fallen und Schaden anrichten können. Wenn die Kristallbildung erst begonnen hat, ist es beinahe unmöglich, sie noch zu bekämpfen, weil der Säureüberzug sich nicht vollständig entfernen läßt. Die Zuleitungen sollten deshalb nur von oben her an die Pole geführt werden, da sonst das Weiterkriechen der Säure erleichtert wird. Außerdem muß man von vornherein darauf bedacht sein, die Leiterenden gut zu schützen. Dies geschieht bei kleinen Zellen am besten dadurch, daß man Kupferdrähte mit starkem Bleiüberzug verwendet und in den Polschuh der letzten Zelle einlötet. Die Drähte werden 10 bis 20 cm in die Höhe geführt und mit den eigentlichen Zuleitungen verlötet. Die Verbindungsstelle muß gut mit einem geeigneten Schutzmittel (z. B. Adiodon) überzogen werden. Die Benutzung von Polklemmen empfiehlt sich nicht, weil die Klemmen und Drahtenden nicht genügend geschützt werden können. Für große Sammler sind starke Drähte oder Kupferschienen mit Bleiüberzug nicht käuflich. Man kann die unteren Enden der starken Zuleitungen dadurch schützen, daß man sie beim Einschmelzen in die Polschuhe mehrere Centimeter hoch mit Blei bedeckt und in ihrem benachbarten Teile drei- bis fünfmal mit säurefester Farbe anstreicht. Auch die übrigen Teile von blanken Kupferleitungen müssen einen säurefesten Anstrich erhalten, namentlich an der oberen Kante, auf die leicht die emporgerissenen Säuretröpfchen von oben her niederfallen. Für kleine Batterien wird man meist Gummiadern verwenden, da deren Verlegung einfacher ist. Gummibandleitungen empfehlen sich für Sammlerräume nicht, da sie dort wie blanke Leitungen auf Isolatoren zu führen sind. Die isolierten Leitungen erhalten in der Regel ebenfalls einen säurefesten Anstrich.

b) Leitungs- und Sicherungsanordnung für kleine Zellen. Die Batteriezuleitungen sollten, da Kurzschlüsse an dieser Stelle besonders starke Ströme erzeugen und Sammler wie Leitungen gefährden können, möglichst in der Nähe der Batterie gesichert werden. Die Verbandsvorschriften[1]) gestatten zwar die Fortlassung der Sicherungen in Schaltanlagen und Verbin-

[1]) E. V., § 14, h.

dungen zwischen Maschinen, Sammlern usw.; es empfiehlt sich aber für Telegraphen- und Fernsprechbatterien nicht, von dieser Erleichterung Gebrauch zu machen. Wenn kleine Sammler in Schränken aufgestellt sind, so können ihre Sicherungen an der Rückwand der Schränke untergebracht und unmittelbar mit den Poldrähten der Zellen verbunden werden. Die Durchtrittsstelle des Drahtes durch die Schrankwand wird mit einer Porzellantülle ausgekleidet. Von den Sicherungen ab können dann die Zuleitungen auf ihrem Wege zur Schalttafel zusammengelegt werden. An offenen Sammlergestellen lassen sich die Sicherungen nicht unterbringen, weil sie den Säuredämpfen ausgesetzt sind. Man führt vielmehr die Leitungen getrennt, möglichst übersichtlich und ohne Umwege durch die Zimmerwand nach dem Schalttafelraum. Wird ein Gestell nach Fig. 50 auf S. 75 benutzt, so können sie auf den oberen Querleisten an Rollen festgebunden werden. Auch eine passend gelegene Mauer läßt sich zur Anbringung benutzen.

An der Durchtrittsstelle der Leitungen durch die Zimmerwand wird eine Marmor- oder Schiefertafel angebracht, die auf der Schalttafelseite die Sicherungen in derselben Anordnung trägt, wie die Leitungen geführt sind. Jede Leitung tritt dann durch die Tafel hindurch und wird an ihre Sicherung angeschlossen. Bei der Weiterführung können die Drähte zusammengelegt werden.

Für die Auswahl der Sicherungsstärke sind verschiedene Rücksichten maßgebend. Die Sicherung muß nach der Zusammenstellung auf S. 187 die Zuleitung gegen Überströme schützen. Für die Sammler selbst wird sich aber ein vollkommener Schutz gegen Überschreitung der höchsten Stromstärke nicht immer erzielen lassen. Es ertragen z. B. die Telegraphenzellen der Reichs-Telegraphenverwaltung Ströme bis zu 2,5 A. Wollte man dementsprechend Sicherungen für 2 A verwenden, so würden sie bei einem Widerstande von 0,1 Ohm in beiden Zuleitungen einer Batterie einen Spannungsverlust von $2 \times 0{,}1 \times 2{,}5 = 0{,}5$ V erzeugen. Die Messung einer fünfzelligen Gruppe würde dadurch schon erschwert. Außerdem könnte, da die Grenzstromstärke dieser Sicherungen oft wenig über 3 A beträgt, bei 2,5 A Ladestrom zuweilen schon ein Durchbrennen erfolgen. Deshalb werden in der Regel für Telegraphenzellen Sicherungen zu 6 A mit 0,04 Ohm Widerstand benutzt.

Wie bei den Sicherungen ist auch bei den Zuleitungen ein großer Widerstand für Spannungsmessungen störend. Da schon mit einem Sicherungswiderstande von $2 \times 0{,}04 = 0{,}08$ Ohm zu rechnen ist, würde jedoch eine Ermäßigung des Leitungswiderstandes unter etwa 0,1 Ohm nicht viel nützen. Man wird daher den Leitungswiderstand ungefähr demjenigen der Sicherung anpassen. Für 2,5 A Ladestrom kann man danach folgende Querschnitte verwenden:

Bei einer Länge der Hin- und Rückleitung von	10 m	2,5 qmm
" " " " " " " "	20 "	4 "
" " " " " " " "	30 "	6 "
" " " " " " " "	50 "	10 "

Im Fernsprechbetriebe werden an den Batterie- und Leitungswiderstand oft noch weitergehende Anforderungen gestellt.

c) Leitungs- und Sicherungsanordnung für große Sammler. Für große Sammler, wie sie in Fernsprech-Zentralbatterien benutzt werden, bringt man in der Regel zum Tragen der Zuführungen eiserne Schienen in wenig

über 2 m Höhe an. Die blanken Leitungen werden oberhalb der Schienen an Isolatoren nach Fig. 141 auf S. 184 geführt. Isolierte Gummiaderleitungen können an Porzellanrollen befestigt werden. Wenn die Batterie aus zwei Sätzen besteht, von denen der eine geladen wird, während der zweite in Betrieb genommen ist, können leicht die Kollektorgeräusche aus dem Ladestromkreis in den Betriebsstromkreis übertragen werden. Es empfiehlt sich deshalb, die Zuleitungen nicht dicht nebeneinander zu führen und die Batterien so aufzustellen, daß die negativen Pole in der Nähe der Schalttafelwand liegen und nur die geerdeten positiven Zuleitungen eine längere Strecke parallel laufen. Die Sicherungen werden meist auf der Rückseite der Schalttafel angebracht. Die Stärke der Zuleitungen und Sicherungen richtet sich nach der höchsten Stromstärke, die im Betriebe vorkommt. Dabei muß darauf Rücksicht genommen werden, daß zuweilen durch außergewöhnliche Verhältnisse eine Steigerung herbeigeführt werden kann. Bei den Strombedarfsberechnungen im ersten Abschnitt sind die Sätze so ausreichend bemessen, daß die berechneten Stromstärken auch in außergewöhnlichen Fällen nicht überschritten werden.

3. Betriebszuleitungen.

a) Allgemeines über Sicherung.

α) Schutz der Leitungen (und Apparate). Die Schalttafel bildet die Zentralstelle, von der die Spannungen dem Betriebe zugeführt werden. Für jede im Betriebe erforderliche Spannung wird in der Regel eine Hauptleitung zum Betriebssaal geführt, wo sie sich zu den einzelnen Apparaten oder Apparatgruppen verzweigt.

Nach den Verbandsvorschriften [1]) müssen Starkstromleitungen durch Abschmelzsicherungen oder Selbstschalter geschützt sein. Es sind danach beide Pole einer Stromquelle zu sichern, damit sowohl bei Berührungen zwischen beiden Leitungen als auch bei Erdschlüssen einer Leitung die Fehlerstelle von der Stromquelle abgetrennt wird. Jedoch dürfen betriebsmäßig geerdete Leitungen im allgemeinen keine Sicherung enthalten. Diese Bestimmung soll verhüten, daß beim Durchbrennen einer Sicherung die Glühlampen infolge der Abtrennung des Mittelleiters in einem Dreileiternetze zu viel Spannung erhalten. Für die Verhältnisse des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes ist die Vorschrift ohne Bedeutung. Daher würde man in der Erdleitung von Telegraphenbatterien eine Sicherung gestatten können, wenn z. B. verschiedene doppelpolig gesicherte Batteriegruppen nacheinander mit der Erdleitung in Verbindung kommen.

Im Fernsprechbetriebe sichert man, wenn der eine Pol der Batterie geerdet ist, die an Erde liegende Rückleitung und ihre Verzweigungen nicht besonders, um die Leitungs- und Sicherungsanordnung einfach zu gestalten. Da der andere Pol Sicherungen enthält, kann bei Kurzschlüssen keine Gefährdung der Leitungen eintreten. Es empfiehlt sich aber, die Sicherungen so anzuordnen, daß auch die Zuleitungen ruhender Batterien geschützt sind, damit durch zufällige Kurzschlüsse an Klemmen oder Schaltern kein Schaden angerichtet werden kann.

[1]) E. V., § 14.



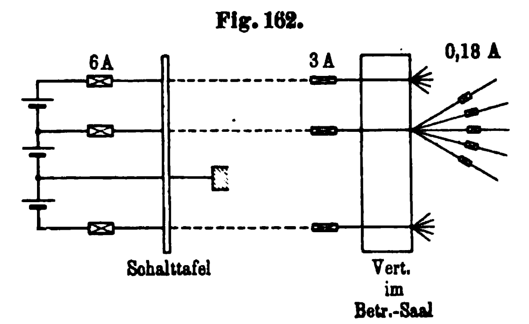
Wo sich der Leiterquerschnitt nach der Verbrauchsstelle hin vermindert, sind neue passende Sicherungen anzubringen, und zwar möglichst in der stärkeren Leitung. Die Sicherung kann aber auch in der schwächeren Leitung liegen, wenn das Anschlußleitungsstück nicht mehr als 1 m lang, von entzündlichen Gegenständen feuersicher getrennt und nicht aus Mehrfachleitung hergestellt ist. Falls aber die Hauptsicherung nach der Zusammenstellung auf S. 187 schon den geringeren Querschnitt deckt, ist eine neue Sicherung an der Verjüngungsstelle nicht erforderlich. Findet zugleich mit der Abnahme des Querschnitts eine Verzweigung der Leitungen statt, so darf eine gemeinsame Sicherung nur verwendet werden, wenn sie nicht über 6 A Nennstromstärke hat.

β) Sicherstellung des Betriebes. Bei der Anordnung der Sicherungen muß auch auf die Begrenzung von Betriebsstörungen Bedacht genommen werden. Wenn das ganze Netz nur durch eine Sicherung in der Hauptleitung geschützt ist, wird der gesamte Betrieb in Störungsfällen so lange unterbrochen, bis der Fehler gefunden und beseitigt ist. Um dies zu vermeiden, schaltet man verschiedene Sicherungen hintereinander, auch wenn keine Querschnittsverminderung stattfindet, und stuft sie so ab, daß beim Auftreten von Störungen nur einzelne Apparate oder Apparatgruppen außer Betrieb gesetzt werden. Da ferner das Einsetzen von Sicherungen in den vom Betriebssaal oft weit abliegenden Schalttafelräumen viel Zeit erfordert, schaltet man oft in die Hauptleitung oder ihre Hauptverzweigungen im Betriebsraum empfindlichere Sicherungen, die dort ohne Zeitverlust ersetzt werden können. Danach enthält eine Sicherungsanlage drei Stufen: 1. die Hauptsicherungen in der Nähe der Batterie, 2. empfindlichere Untersicherungen oder Hauptverteilungssicherungen im Betriebsraum und 3. Feinsicherungen in den Apparatzuführungen.

b) Telegraphenbetrieb.

α) Reichs-Telegraphenverwaltung. Bei der Reichs-Telegraphenverwaltung werden die Batteriezuleitungen für den Telegraphenbetrieb nach **Fig. 162** eingerichtet. In der Nähe der Batterie sind die Hauptsicherungen zu 6 A Nennstromstärke eingeschaltet. Von der Schalttafel führen die Hauptleitungen zum Hauptverteiler des Apparatsaals. Vor diesem wird eine Glasröhrensicherung zu 3,5 A Grenzstromstärke eingeschaltet. Vom Hauptverteiler verzweigen sich die Leitungen zu den einzelnen Apparaten. Die Verteilungsleitungen enthalten Feinsicherungen mit Woodschem Metall. Sie werden entweder am Anfang der Verteilungsleitung im Verteilerschrank oder am Ende an den Apparattischen untergebracht. Vor die Sicherungen sind Zusatzwiderstände (Fig. 161 a. S. 199) geschaltet, und zwar in Leitungen mit

Fig. 162.



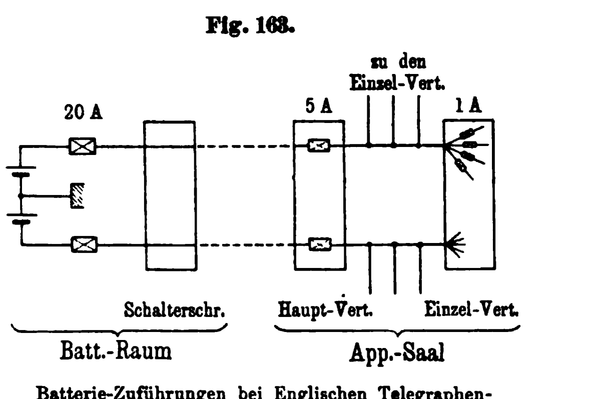
Batterie-Zuführungen bei Deutschen Telegraphen-Anstalten.

einer Spannung bis zu 20 V von 20 Ohm und in Leitungen mit höherer Spannung von 120 Ohm. Bei einem Kurzschluß an den Apparaten kann daher der Strom höchstens einen Wert von etwa 1 A erreichen und die Glasröhrensicherung nicht durchbrennen. Auf diese Weise ist die Unterbrechung einer ganzen Spannungsstufe verhütet.

Bei anderen Verwaltungen schaltet man in der Regel, um die Kurzschlußstromstärke auf 1 A zu ermäßigen, auf je 1 V 1 Ohm Widerstand in die Leitung ein. Auch wird dieses Mittel zuweilen für die Hauptleitungen benutzt. Die Widerstände bestehen dann oft aus Glühlampen. Auch die Reichs-Telegraphenverwaltung schaltete in die ungesicherten Hauptleitungen der älteren Sammleranlagen mit Kupferbatteriespeisung, wie Fig. 110 auf S. 144 zeigt, derartige Widerstände aus Draht ein.

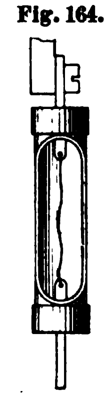
Für die Zuführung der Leitungen von der Schalttafel zum Betriebsraum werden zweckmäßig Gummiaderleitungen benutzt und zusammengebunden in

Fig. 163.



Batterie-Zuführungen bei Englischen Telegraphen-Anstalten.

Fig. 164.



Engl. Sicherung für Telegraphen-Batterien.

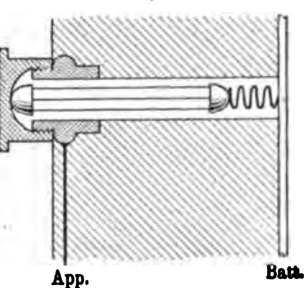
Kanälen unter dem Fußboden geführt. Hierzu das Gummikabel, auch das mit Bleimantel, zu verwenden, ist bei der Reichs-Telegraphenverwaltung nicht mehr zugelassen. Seine Adern, die 1,5 mm Durchmesser und 1,8 qmm Querschnitt haben, dürfen mit 15 bis 20 A belastet werden und reichen daher in allen Fällen aus. Der Spannungsabfall in ihnen für eine bestimmte Stromstärke ergibt sich aus der Belastungstabelle. Um große Spannungsunterschiede in benachbarten Adern zu vermeiden, nimmt man zweckmäßig mehrere Kabel mit etwa 10 Adern. Die Apparatzuleitungen werden aus dem üblichen Zimmerleitungsmaterial (1 mm starker Kupferdraht mit getränkter Papier- und Baumwollumspinnung, Zwirnumklöpplung und Bleimantel) hergestellt.

β) Englische Einrichtungen. Das Schema für die Batteriezuleitungen der englischen Telegraphenverwaltung[1]) zeigt **Fig. 163.** Die Hauptsicherungen zu 20 A sind dicht an den Batteriepolen untergebracht. Sie bestehen, wie **Fig. 164** erkennen läßt, aus einer Fiberröhre mit einem Schlitz zum Einsetzen des Schmelzdrahts aus Silber. Im Apparatraum sind 5-A-Sicherungen derselben Bauart in einem Hauptverteilerschrank eingeschaltet. Auf

[1]) Herbert, Telegraphy, S. 466.

den Apparattischen stehen Einzelverteilerschränke, die für je drei Tische dienen. Sie enthalten für jede Leitung eine Glasröhrensicherung mit feinem Platindraht zu 1 A. Der Schrank vermag 80 Sicherungen, und zwar in der Regel 10 für jede der vier positiven und vier negativen Spannungsstufen aufzunehmen. Die acht Zuleitungen führen an acht vertikale Messingschienen, die auf der Rückseite einer Porzellanplatte liegen und dort den hinteren Abschluß von je 10 Durchbohrungen bilden (**Fig. 165**). Vorn ist in die Durchbohrungen ein Messingring mit Gewinde, an den die Apparatzuführungen angeschlossen werden, eingesetzt. In die Löcher werden die Glasröhrensicherungen eingeführt und durch eine auf das Gewinde aufgeschraubte vordere Metallkappe einerseits mit den Apparaten verbunden und andererseits gegen die Batterieschienen gedrückt. Soll ein Apparat eine andere Spannung erhalten, so benutzt man zwei durch eine Schnur verbundene Abschlußkappen. Die eine wird auf das Gewinde der Apparatzuführung geschraubt, nachdem die zugehörige Sicherung entfernt ist. Die zweite wird in eine freie Durchbohrung der gewünschten Spannungsstufe unter Einschaltung einer Sicherung eingesetzt.

Fig. 165.



Englische Feinsicherung.

Als Hauptzuleitungen dienen Einzeladern von 2 qmm Kupferquerschnitt, bestehend aus sieben Litzen mit getränkter Papierisolation und nahtlosem Bleimantel. Sie sind von den Hauptsicherungen, die dicht an den Batteriepolen sitzen, über den Schalterschrank mit den Ausschaltern und Walzenumschaltern zum Hauptverteilerschrank mit den 5-A-Sicherungen geführt und verlaufen weiter durch den Apparatraum, bei größeren Ämtern in mehreren Strängen. Zu den Einzelverteilerschränken werden Abzweigungen verlegt. Die Zuführungen zu den Apparaten haben 0,66 qmm Querschnitt. Sie bestehen aus Gummiadern und erhalten, wenn sie zu anderen Tischen unter dem Fußboden geführt werden müssen, einen Bleimantel, anderenfalls einen Baumwollüberzug.

γ) Haupttelegraphenamt Paris. Beim Haupttelegraphenamt in Paris[1]) sind ebenfalls für die Apparatzuführungen Sicherungen zu 1 A verwendet. Sie bestehen aus einem mit Seide isolierten Eisendraht, der beim Durchgang starker Ströme glühend wird, die Umspinnung durchbrennt und dadurch die Leitung mit dem Kontakt eines Läutewerks verbindet.

c) Fernsprechbetrieb.

α) Anstalten mit Lokalbatterien. Bei Vermittelungsanstalten mit Lokalbatteriebetrieb werden oft Sammler für die Amtsmikrophone, Schlußzeichen und Rufeinrichtungen benutzt.

Amtsmikrophone. In gemeinsamen Amtsmikrophonbatterien soll, wie früher erörtert, der Widerstand der Elemente, Zuleitungen und Sicherungen 0,1 Ohm nicht übersteigen. Bei Verwendung von Stöpselsicherungen wird man deshalb solche zu mindestens 6 A mit 0,04 Ohm Widerstand wählen

[1]) E. T. Z. 1897, S. 158.

müssen und zur Ermäßigung des Widerstandes nur einpolig sichern. Der Querschnitt der Zuleitungen muß zur Verhütung von Mitsprechen so bemessen werden, daß ihr Widerstand etwa denselben Wert hat wie die Sicherung. Da dies bei großen Entfernungen sehr oft starke Querschnitte erfordern würde, ist es meist einfacher, die Batterie im Betriebsraume oder in dessen unmittelbarer Nähe unterzubringen. Sie wird dann entweder zur Ladung nach dem Laderaum befördert oder an Ort und Stelle geladen. Im letzteren Falle setzt man sie in einen Kasten mit Abzug ins Freie. Die Zuleitungen von Querbatterien unterliegen denselben Bedingungen wie die Hauptzuführungen.

Für die Verzweigungen zu den einzelnen Mikrophonen ist der Widerstand von geringerer Bedeutung, er muß aber möglichst unter 1 Ohm bleiben, um die Stromschwankungen nicht herabzumindern. Als Einzelsicherung werden bei der Reichs-Telegraphenverwaltung die Glasröhrensicherungen zu 1 A mit geringem Widerstande benutzt. Als Leitungsmaterial genügt das gebräuchliche Bleirohrkabel. In vielen Fällen läßt sich die Verzweigung schon an der Schalttafel ausführen und für die Einzelleitungen Gummiader benutzen. Die Sicherungen werden dann übersichtlich auf der Schalttafel angeordnet.

Schlußzeichen. Bei den Schlußzeicheneinrichtungen ist der Widerstand der gemeinsamen Zuleitungen von geringerer Bedeutung; er darf aber nicht so groß sein, daß er bei der höchsten Stromstärke einen erheblichen Spannungsabfall verursacht. In der Regel wird das übliche Zimmerleitungsmaterial (Bleirohrkabel) genügen. Es ist mit 4 oder 6 A zu sichern. Außer der Hauptsicherung würden Verzweigungssicherungen zu 1 A einzuschalten sein. Die geerdete Rückleitung bedarf der Sicherungen nicht.

Rufeinrichtungen. Die Gleichstromzuführungen zu den Ruftasten des Fernverkehrs und die Polwechsler für den Ortsverkehr werden vielfach aus der gemeinsamen Telegraphenbatterie mitversorgt. Von den Abzweigungen wird die eine an die positive Seite und die andere an die entsprechende negative Spannungsstufe gelegt. In die Zuleitungen werden Widerstände von solcher Größe eingeschaltet, daß auf 1 V der verwendeten Spannung 1 Ohm entfällt. Die Stromstärke kann dann nicht über 1 A steigen. Da die Zweigleitungen und Ruftasten so stark sind, daß sie 1 A ertragen, sind Sicherungen nicht mehr erforderlich. Um aber auch der Gefahr vorzubeugen, daß durch Fehler in den Widerständen stärkere Ströme entstehen können, sind in die Hauptleitungen noch Sicherungen zu 1 A geschaltet.

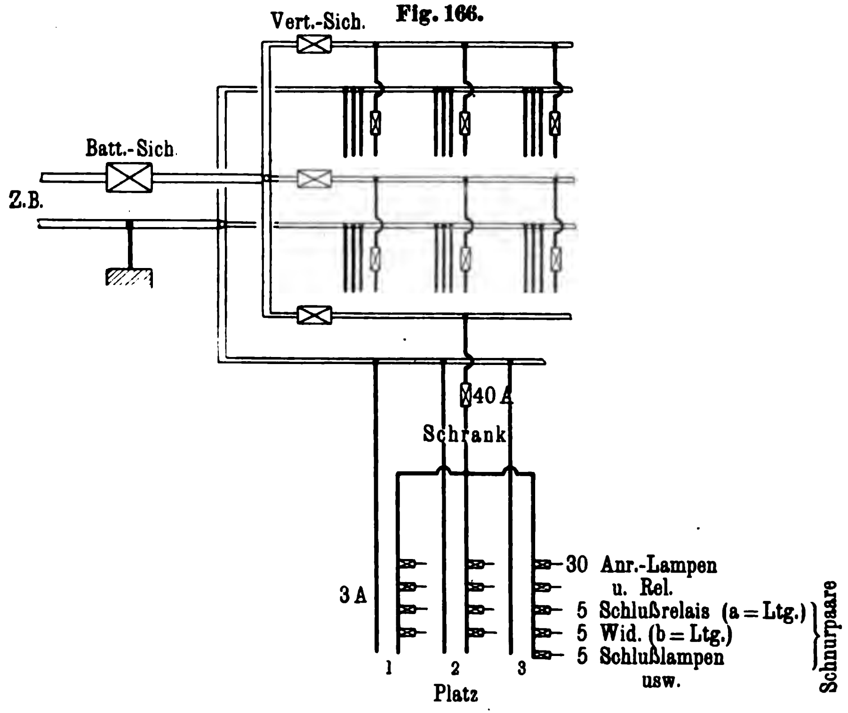
β) Deutsche Anstalten mit Zentralbatterie.

Z. B.-Strom. In den Zentralbatterieeinrichtungen der Reichs-Telegraphenverwaltung führen in der Regel starke Zuleitungen von der Schalttafel zum Betriebsraum. In den Fig. 124 auf S. 168 und 125 auf S. 170 ist eine höchste Stromstärke von 600 A angenommen. Dementsprechend haben die Batteriesicherungen 600 A Stromstärke und die Hauptleitungen 400 qmm Querschnitt. Bei dem System mit 2 × 12 V hat der Mittelleiter nach der Berechnung nur 100 bis 200 A zu führen. Im Relaisgestellraum werden die Hauptleitungen nach der Anzahl der Relaisreihen aufgeteilt und an diesen entlang geführt (**Fig. 166**). An der Verteilungsstelle wird eine Verteilungstafel mit Sicherungen angebracht. Die Stärke der Verteilungsleitungen und ihrer Sicherungen richtet sich nach der Größe und Art des Verkehrs der

Reihen. Wenn die Verzweigungsstelle in die Nähe der Hauptschalttafel fallen würde, kann man schon dort die Aufteilung vornehmen. Als Erdrückleitung dient in der Regel eine blanke Kupferschiene von rechteckigem Querschnitt. Für die spannungführenden Zuleitungen ist Gummiaderleitung zu empfehlen.

Die an den Relaisgestellen entlang laufenden starken Leitungen erhalten an jedem Schranke eine Abzweigung aus Gummiader, die für 20 bis 40 A bemessen und entsprechend gesichert wird. Der Anschluß an die geerdete Rückleitung bleibt ungesichert, auch in den Einzelverzweigungen. Die spannungführenden Einzelabzweigungen enthalten Sicherungen zu 3 A mit

Fig. 166.



Leitungs- und Sicherungsanordnung bei Deutschen Fernsprechämtern Siemens & Halske.

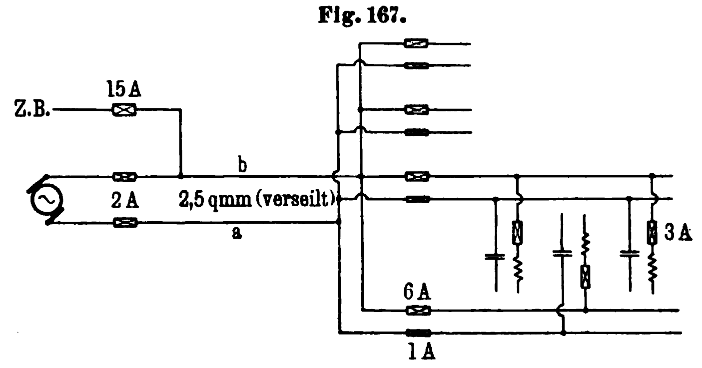
Glasröhren nach Fig. 152 auf S. 194. Sie sind platzweise auf eine Eisenplatte mit Asbestauflage geschraubt und auf der einen Seite durch eine gemeinsame Schiene mit der Zuleitung verbunden. Auf der anderen Seite sind die Verbrauchskreise angeschlossen, und zwar in der Regel mehrere an eine Sicherung. Gewöhnlich wird an Teilnehmerplätzen je eine Sicherung zu 3 A für folgende Kreise benutzt: 1. je 30 Anrufrelais, 2. je 30 Anruflampen, gemeinsam mit der Platzlampe, 3. die Rufüberwachungslampe, 4. die Zuleitung zum 10-Ohm-Widerstand, 5. die Zuführungen zum Platzmikrophon, 6. je ein Drittel der Zuleitungen zur a-Ader der Schnurpaare, 7. je ein Drittel der Zuführungen zur b-Ader der Schnurpaare, 8. je ein Drittel der Überwachungslampen. Neuerdings erhalten die Anrufrelais und Anruflampen gemeinsame Zuleitungen und Sicherungen. In die Lampenrückleitungen werden dann

noch Sicherungen zu 1 A gelegt, damit beim Auftreten von Kurzschlüssen in den Lampen die Fehlerstelle von den an derselben Platzlampe liegenden Stromzweigen abgetrennt wird. Dazu tritt noch eine vor die Platzlampe geschaltete Sicherung zu 1 A.

An Plätzen für ankommende Verbindungsleitungen ist die Sicherungsanordnung ähnlich. Jedoch sind alle Anruflampen gemeinsam gesichert, während je eine besondere Sicherung für die Kontrollampe und die Weiterrufzuleitung hinzutritt. Die Zahl der an eine Sicherung angeschlossenen Stromkreise ist so bemessen, daß sie bei gleichzeitigem Arbeiten die Sicherung noch nicht durchschmelzen können. Es verbrauchen z. B. 30 Lampen $30 \times 0{,}08 = 2{,}4$ A.

Wäre für alle Anruflampen und Anrufrelais nur eine Sicherung vorhanden, so würde sie beim gleichzeitigen Eintreffen von 40 Anrufen an einem Platze durchbrennen. Es ist aber zweifelhaft, ob dies nachteilig wäre. Eine große Anzahl von Lampen kommt nur bei schweren Leitungsstörungen oder

Fig. 167.



Rufstromsicherungen der Reichs-Telegraphenverwaltung in Z. B.-Ämtern Siemens & Halske.

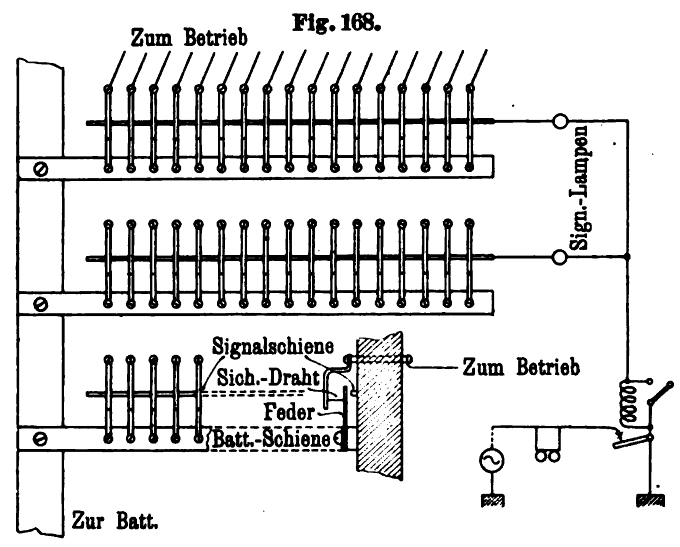
ähnlichen Unfällen zum Aufleuchten. Schalten sich nun die hauptsächlich betroffenen Plätze selbsttätig aus, so wird verhütet, daß die Stromstärke der Hauptsicherungen überschritten und der gesamte Betrieb unterbrochen wird. Es ist dann leichter möglich, die fehlerhaften Leitungen durch Isolation auszusondern, als wenn alle Leitungen zeitweise außer Betrieb gesetzt sind.

Ein anderer Vorteil der platzweise zusammengefaßten gemeinsamen Sicherungen besteht darin, daß sich durchgebrannte Sicherungen sofort durch das Ausbleiben aller Anrufe an einem Arbeitsplatze bemerklich machen, während kleine Gruppen weniger Beachtung finden. Um aber auch in diesem Falle ein Signal zu erhalten, kann man zu der Sicherung einen Elektromagneten mit hohem Widerstande parallel schalten. Dieser erhält gewöhnlich keinen merklichen Strom, da die beiden Seiten der Sicherung keinen erheblichen Spannungsunterschied haben. Steigt aber nach dem Durchschmelzen die Spannung auf 24 oder 12 V, so fällt die Klappe und schaltet einen Wecker ein.

Rufeinrichtung. Die Rufmaschine wird in der Regel mit 2 A gesichert (**Fig. 167**); ihre Stromstärke vermag auch bei Kurzschlüssen nicht erheblich höher zu steigen. Bei der Sicherung der Betriebszuleitungen ist aber zu berücksichtigen, daß die *b*-Seite an die 24-V-Batterie angeschlossen

ist und bei Erdschlüssen heftige Ströme aus der Batterie erhalten kann. Auch in die a-Leitung gelangen bei Erdschlüssen über die Maschine Batterieströme, die aber bei 13 bis 15 Ohm Maschinenwiderstand 2 A nicht überschreiten. In die Abzweigung von der Zentralbatterie muß daher eine Sicherung geschaltet werden, die den Querschnitt der Zuleitungen deckt. In der Regel haben sie 2,5 qmm und sind demnach mit 15 A zu sichern. Da eine Unterbrechung dieser Sicherung den gesamten Betrieb stören würde, muß darauf Bedacht genommen werden, die Zuleitungen im Betriebssaal in Hauptzweige zu zerteilen und diese einzeln zu sichern. Es empfiehlt sich dabei, für jede Schrankreihe zwei Stränge anzulegen und in wechselnder Reihenfolge an die Plätze zu führen. Bei Unterbrechungen der einen Leitung kann dann immer die zweite vom Nachbarplatze aushelfen.

Fig. 168.



Amerikanische Verteilungs- und Sicherungseinrichtung.

In die Hauptzweige müssen Sicherungen eingeschaltet werden, die empfindlicher sind als die davor liegenden. Für die b-Seite kommen solche zu 10 oder 6 A und für die a-Seite, die schon durch 2-A-Sicherungen geschützt ist, solche zu 1 A in Betracht. Als Einzelsicherungen werden in die b-Ader der Platzzuleitung Glasröhrensicherungen für 3 A eingeschaltet. Empfindlicher dürfen sie nicht sein, weil bei Erdschlüssen in den Schnüren der Widerstand des Stromkreises nur in der 10-Ohm-Spule besteht und daher der Strom leicht auf 2,4 A steigen kann. Eine Lichtbogenbildung zeigt sich in den Glasröhrensicherungen bei der Rufspannung noch nicht. Die Rufstromzuleitungen werden verseilt, damit sie andere Leitungen nicht induzieren.

γ) Amerikanische Anstalten mit Zentralbatterie. Für eine amerikanische Vermittelungsanstalt nach dem System der Western Electric Co. ist die Anordnung der Hauptzuleitungen in Fig. 108 auf S. 140 angegeben. Da die Sprechströme der Teilnehmer durch die Übertrager und die Zentralbatterie fließen, würde bei gemeinsamen Zuleitungen leicht Mitsprechen eintreten können. Man führt deshalb von der Schalttafel getrennte Zuleitungen

zu den einzelnen Übertragern. Diese Einrichtung hat zugleich den Vorteil, daß die Sicherungen auf einer Tafel vereinigt sind. In der Regel befindet sich die Sicherungstafel neben der Hauptschalttafel. Sie trägt nach **Fig. 168** auf der Vorderseite eine Anzahl von horizontalen Schienen aus Kupfer oder Messing, die an eine Hauptschiene angeschlossen und durch diese mit der Batterie verbunden sind. Über jeder Schiene befindet sich eine Reihe von Bolzen, die durch die Schalttafel hindurchgreifen und auf der Rückseite an die zum Betriebe führenden Gummiaderleitungen oder Kabeladern angeschlossen sind. Vorn sind an die Bolzen Metallwinkel angeschraubt. Zwischen diesen und einer an der Batterieschiene sitzenden Feder ist der Sicherungsdraht ausgespannt. Sobald er zerstört wird, legt sich die Feder gegen eine zwischen der Batterieschiene und den Bolzen angebrachte Signalschiene. Der Strom der Batterie findet dann einen Weg über die Signalschiene, eine Signallampe und ein Relais zur Erde. Dadurch wird ein Wecker eingeschaltet. Sobald das Zeichen gehört ist, kann das Relais durch einen Schalter überbrückt werden. An derselben Sicherungstafel werden häufig auch die Zuleitungen für die übrigen Verbrauchskreise in derselben Weise aufgeteilt und gesichert. Die Art der Aufteilung, der Querschnitt der Zuleitungen und die Stromstärke der Sicherungen ergeben sich aus der nachfolgenden Übersicht:

Stromkreis	Zahl der Zuleitungen für einen Arbeitsplatz	Leiter-querschnitt qmm	Stärke der Sicherung A	Bemerkungen
Relais (Anruf usw.) . .	1—10	5,0	3	Entweder eine Leitung für den ganzen Arbeitsplatz oder für jede Relaisreihe von meist 20 Relais.
Anruflampen (Teilnehmerplatz) . .	1	1,3	3	—
Übertrager für Teilnehmerstrom .	einzeln (17—30)	1,3	1 oder 2	—
Überwachungslampen:				
a) Teilnehmerplatz . .	2	2,0	5	—
b) Verbindungsleitungsplatz	3	2,0	5	—
Amtsmikrophone	1 Paar	0,5	1	Verseilt. Eine Ader an der Schalttafel geerdet.

Die Rufstromzuführungen bestehen aus 2 qmm starken Leitungen, die sich zu den Arbeitsplätzen mit Drähten von 0,5 qmm verzweigen. Jede Abzweigung enthält in beiden Polen eine Glühlampe für 110 V und 16 Kerzen als Sicherheitswiderstand. In derselben Weise sind die Zuleitungen für pulsierende Signalströme gesichert.

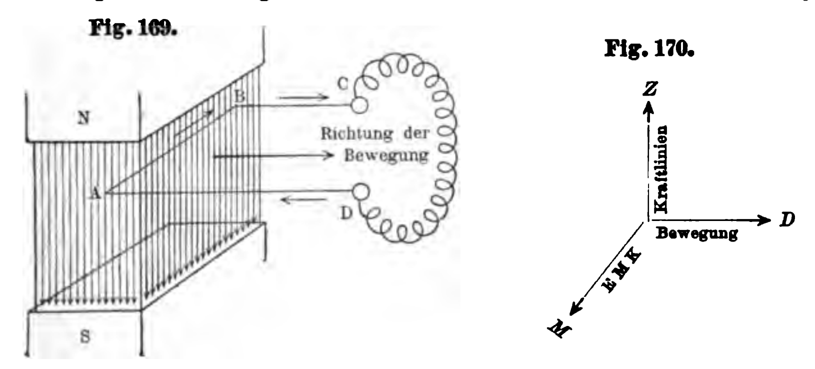
Anhang.

Allgemeines über Dynamomaschinen.

1. Gleichstromgeneratoren.

a) **Erzeugte EMK.** Ein Generator oder eine Dynamo im engeren Sinne ist eine umlaufende Maschine, die mechanische Leistung in elektrische verwandelt. Ihre Wirkungsweise beruht darauf, daß in einem Leiter, der durch ein magnetisches Feld bewegt wird, eine EMK und bei Stromschluß ein Strom entsteht. Dasselbe tritt ein, wenn der Leiter ruht und das magnetische Feld bewegt wird oder sich ändert. Man kann daher allgemein sagen, daß ein Strom in einem Stromkreise entsteht, sobald die Anzahl der von diesem eingeschlossenen Kraftlinien sich ändert. Das magnetische Feld besteht in den nach außen tretenden Kraftlinien eines Dauermagneten oder Elektromagneten. In **Fig. 169** ist der Verlauf der Kraftlinien vom Nordpol

Fig. 169. **Fig. 170.**



zum Südpol durch Striche dargestellt. Ihre Anzahl entspricht der Stärke des magnetischen Feldes, die bei Elektromagneten von der Windungszahl und der Stromstärke (Amperewindungen) abhängig ist. In dem magnetischen Felde befindet sich der Leiter AB, der zum Stromkreise $ABCD$ gehört. Wird er in der Richtung des langen starken Pfeiles aus dem magnetischen Felde herausbewegt, so entsteht in dem Stromkreise ein Strom, dessen Stärke bedingt wird erstens durch die Stärke des magnetischen Feldes und zweitens durch die Geschwindigkeit der Bewegung.

Die Richtung der induzierten EMK ist durch die kleinen Pfeile angedeutet. Wenn die Bewegung in umgekehrter Richtung stattfindet, kehrt sich die Stromrichtung ebenfalls um [1]). Man findet die Richtung der EMK

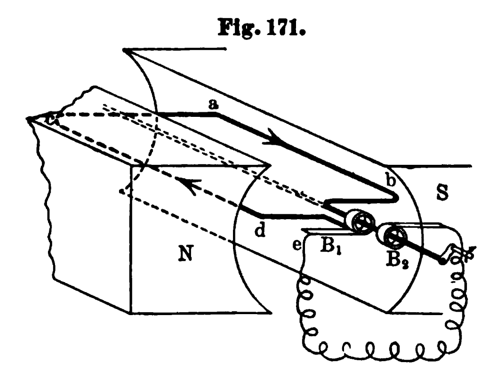
---

[1]) Näheres siehe bei Dr. Johs. J. C. Müller, „Lehrbuch der Elektrotechnik". Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn.

nach der sogenannten Dreifingerregel von **Flemming** auf folgende Weise[1]: Streckt man (**Fig. 170**) den Daumen D, den Zeigefinger Z und den Mittelfinger M der **rechten** Hand in drei aufeinander senkrechten Richtungen aus, so gibt M die Richtung der EMK an, wenn D die Richtung der Bewegung und Z die Richtung der vom Nordpol zum Südpol übertretenden Kraftlinien anzeigt.

Fig. 171 zeigt eine zwischen den Polen eines Magneten NS drehbar gelagerte Drahtschleife $abdc$. Ihre Enden führen zu zwei isolierten Metallringen, auf denen die Federn (Bürsten) B_1 B_2 schleifen. Liegt die Ebene der Drahtschleife, wie hier gezeichnet ist, in der Richtung des magnetischen Feldes, so treten keine Kraftlinien hindurch. Bei der Drehung nach rechts nimmt dann die Zahl der eingeschlossenen Kraftlinien zu, bis die Schleife zu ihrer früheren Stellung und zu den Kraftlinien senkrecht steht, wobei sie den größten Teil der von N nach S gehenden Kraftlinien einschließt. Darauf nimmt die Zahl der eingeschlossenen Kraftlinien wieder ab, bis die Schleife einen Winkel von 180° beschrieben hat. Beim Weiterdrehen bis zur Vollendung der Kreisbewegung wiederholt sich derselbe Vorgang.

Fig. 171.



Faßt man bei einer vollen Umdrehung den Leiter cd ins Auge, so erhält man anfangs nach der Regel von **Flemming** die durch die Pfeilspitzen angedeutete Richtung der EMK. Wenn der Leiter seine höchste Lage erreicht hat, beginnt er sich nach unten zu bewegen und schneidet nun die Kraftlinien in umgekehrter Richtung. Dementsprechend kehrt sich auch die Richtung der EMK um, bis die Bewegung wieder nach oben gerichtet ist. Da das Leiterstück ab sich stets umgekehrt bewegt wie cd, ist seine EMK immer entgegengesetzt gerichtet. Wie sich aus der Figur ergibt, addieren sich diese beiden Kräfte im Stromkreise $abdc$. In diesem fließen also Ströme, die bei einer vollen Drehung zweimal ihre Richtung wechseln. Die Stärke der EMK verändert sich dabei dauernd, weil die Anzahl der eingeschlossenen Kraftlinien verschiedenartig zu- oder abnimmt. Sie ändert sich am schnellsten, wenn die Schleife die Richtung der Kraftlinien einnimmt, und am langsamsten, wenn sie senkrecht dazu steht. Läßt man auf einer geraden Linie einen Punkt mit derselben gleichförmigen Geschwindigkeit wandern, mit der die Drahtschleife ihre Kreisbewegung ausführt, und errichtet man für eine Reihe von Stellungen auf der Geraden Lote von der augenblicklichen Größe der EMK, so bilden ihre Endpunkte die in **Fig. 172** dargestellte Wellenlinie (vgl. 3, a, α, a. S. 229 u. Fig. 199 a. S. 230).

b) Kommutierung. Für Betriebe, die Ströme von gleichbleibender Richtung erfordern, läßt sich der in der Schleife erzeugte Wechselstrom dadurch in Gleichstrom umwandeln, daß die negativen Stromteile in positive

[1]) **Strecker**, „Hilfsbuch f. d. Elektrotechnik". Berlin 1907, S. 82.

umgeformt werden, wie es in Fig. 172 durch eine punktierte Linie angedeutet ist. Zu diesem Zwecke legt man die Enden der Schleife nach **Fig. 173** an zwei voneinander isolierte Halbringe, auf denen ein Bürstenpaar schleift. Sobald dann der Strom in der Schleife bis auf Null gesunken ist und seine Richtung zu ändern beginnt, wird der Stromkreis ebenfalls mit umgekehrten Polen angeschlossen und erhält so wiederum eine positive Halbwelle. Um den Stromfluß gleichmäßiger zu machen und zugleich die erzeugte EMK zu erhöhen, verwendet man eine größere Anzahl von Schleifen, die gleichmäßig über den Umfang einer Walze oder Trommel verteilt sind. Von zwei um 90° gegeneinander verschobenen Schleifen kommt die eine in die günstigste Lage des Feldes, wenn die andere die ungünstigste Stellung einnimmt. Die Kurve der einen Schleife ist daher gegen diejenige der anderen um 90° ver-

Fig. 172.

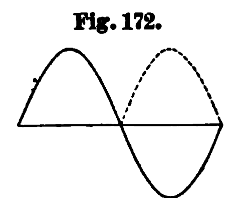


Fig. 173.

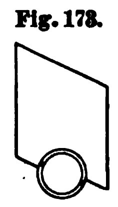
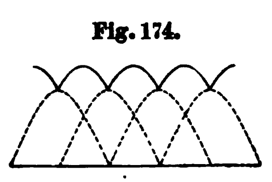
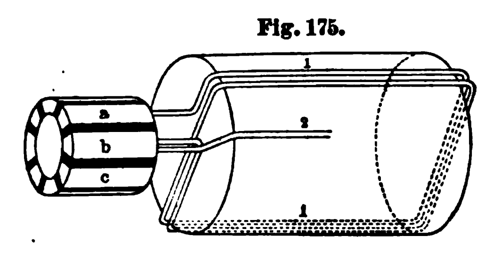


Fig. 174.



schoben, wie die punktierten Linien in **Fig. 174** zeigen. Addiert man die zusammenfallenden Werte der EMK, so ergibt sich die ausgezogene Linie, die in allen Punkten einen gewissen Abstand von der Nullinie hat, aber noch starke Schwankungen aufweist. Bei Verwendung einer größeren Anzahl von Schleifen werden die Schwankungen geringer. In **Fig. 175** ist die Art der Anordnung von acht Schleifen auf einem trommelförmigen Anker ersichtlich gemacht. Zu den acht Schleifen gehören acht Metallstücke, die durch Vermittelung von zwei Bürsten die Gleichrichtung der Stromwellen bewirken und deshalb Kommutator genannt werden. An jedem Kommutatorteil liegt das Ende einer Schleife und der Anfang der nächsten, so daß die ganze Ankerwicklung verbunden ist. Die Zahl der Wicklungsspulen und Kommutatorteile wird in der Starkstromtechnik so groß gemacht, daß die Schwankungen der EMK sich in den Glühlampen nicht mehr störend bemerklich machen.

Fig. 175.

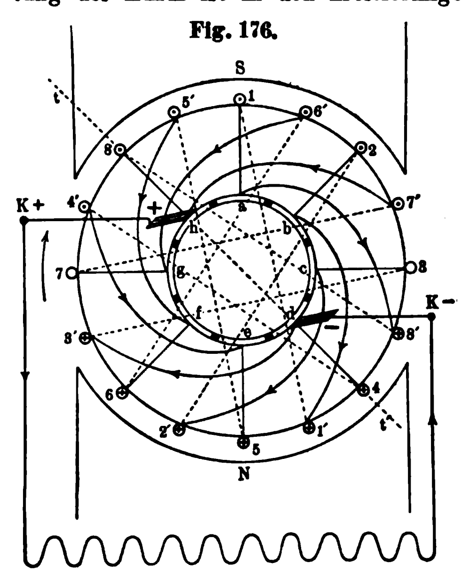


Diese Unterteilung genügt jedoch noch nicht, um Induktionsgeräusche in Fernhörern bei unmittelbarer Speisung von Mikrophonen aus der Maschine zu verhüten; die Schwankungen stören aber bei der Ladung von Sammlern nicht.

c) Ankerwicklungen. Der in Fig. 175 dargestellte Anker kann als einfaches Muster für die Ausführung von Ankerwicklungen dienen. **Fig. 176** zeigt denselben Anker, von der Stromabnehmerseite gesehen, zwischen zwei Polschuhen *N* und *S*. Von jeder Spule, die in Wirklichkeit zur Erhöhung der EMK eine größere Anzahl von Windungen enthält, ist der Deutlichkeit halber nur ein Leiter gezeichnet. Es sind danach auf dem Ankerumfange

$2 \times 8 = 16$ wirksame Drähte 1, 6', 2, 7' usw. angegeben. Die Drehung des Ankers erfolgt rechts herum, wie der Pfeil zeigt. Danach ist die erzeugte EMK in den am Nordpole vorübergehenden Drähten vom Beschauer fort und in den Drähten der anderen Seite auf den Beschauer zu gerichtet. Die Richtung der EMK ist in den kreisförmigen Drahtquerschnitten durch Punkte oder Kreuze, die eine Pfeilspitze oder einen gefiederten Pfeilschaft darstellen sollen, angedeutet. Wie aus der Figur ersichtlich ist, führt von dem Kommutatorstück *a* eine Verbindung zu dem wirksamen Leiter 1, der durch eine unwirksame Verbindung (punktiert) auf der Rückseite mit dem wirksamen Leiter 1' verbunden ist. Dieser ist an das Stück *b* angeschlossen. Von hier aus folgen die Schleifen 2—2', *c*, 3—3' usw. Die beiden Bürsten, die den Strom abnehmen, müßten stets an diejenigen Ankerdrähte angeschlossen sein, die sich in der Richtung der Kraftlinien bewegen, und deshalb keine EMK enthalten. In Wirklichkeit ist aber eine Verschiebung der Bürsten in der Drehungsrichtung notwendig, wie später erörtert werden wird. Für die in Fig. 176 gewählte Stellung des Ankers ergeben sich zwischen den beiden Bürsten folgende zwei Stromwege:

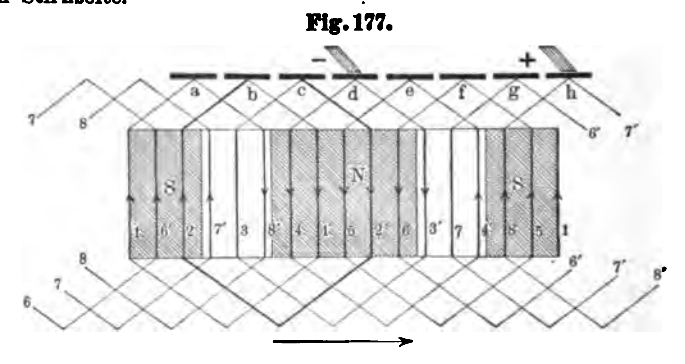
Fig. 176.



$$B - \left\langle \begin{matrix} v\,3'\,h\,3\,v\,2'\,h\,2\,v\,1'\,h\,1\,v\,8'\,h\,8 \\ v\,4\,h\,4'\,v\,5\,h\,5'\,v\,6\,h\,6'\,v\,7\,h\,7' \end{matrix} \right\rangle B +$$

Die Buchstaben *v* und *h* bezeichnen Verbindungen auf der vorderen und hinteren Stirnseite.

Fig. 177.

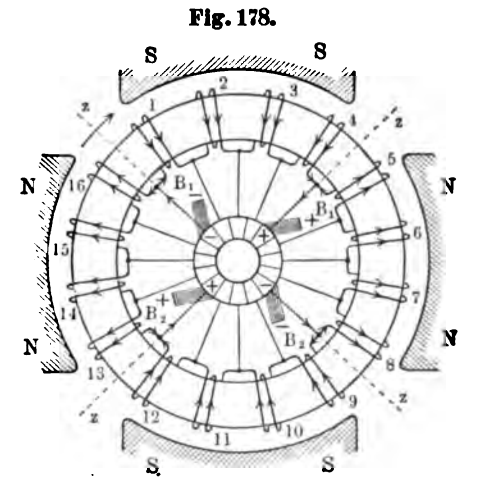


Um einen besseren Überblick über den Verlauf der Wicklung zu gegewinnen, denkt man sich den Zylindermantel zwischen zwei Drähten aufgeschnitten und in der Zeichenebene abgerollt. Man erhält so die **Fig. 177**, in der die Lage der Magnetpole durch gestrichelte Flächen angedeutet ist.

In der Regel wird die Strichelung des Nordpols so ausgeführt, daß die Linien die Richtung des starken Striches im Buchstaben N haben. Denkt man sich dann die Wicklung an den Polen vorbeigeschoben, so scheinen die Strichelungslinien an den Drähten entlang zu wandern. Die Richtung dieser scheinbaren Bewegung ist zugleich die Richtung der EMK in den Leitern, die in der Figur durch Pfeile angegeben ist. Dasselbe läßt sich an den Südpolen veranschaulichen, wenn sie (abweichend von der Figur) umgekehrt wie die Nordpole gestrichelt werden. An der stärker gezeichneten Schleife $b\,2\,2'c$ ist der Verlauf der Wicklung deutlich zu erkennen. Wenn die Verbindung des Leiters 2 mit dem Leiter 2′ nicht nach rechts, sondern nach links über die Schnittlinie hinweg hergestellt wäre, würde statt der Schleifenwicklung eine Wellenwicklung entstehen, die aber bei zweipoligen Maschinen dieselben Verbindungen hat.

Für größere Maschinen werden statt zweier Magnetpole deren vier oder mehr verwendet. Es befinden sich dann immer zwei oder mehr Ankerteile in derselben Lage zu einem Pole und in demselben Stromzustande. Man muß daher entweder die gleichartigen Leiter parallel schalten oder ein zweites, drittes usw. Bürstenpaar auf dem Kommutator schleifen lassen. Der Anker hat in letzterem Falle 4, 6 usw. Stromwege.

Fig. 178.



Für Maschinen mit hoher Spannung werden ringförmige Anker benutzt, die eine fortlaufende Wicklung tragen. **Fig. 178** stellt einen Ringanker für eine vierpolige Maschine dar. Da zwei benachbarte Spulen nur einen geringen Spannungsunterschied haben, lassen sie sich leichter voneinander isolieren als bei Trommelankern, auf denen benachbarte Drähte oft sehr verschiedenartige Spannung haben. Die Ringanker haben jedoch gegenüber den Trommelankern den Nachteil, daß die innerhalb des Ringes liegenden Teile der Wicklung unwirksam sind und den Widerstand nutzlos erhöhen.

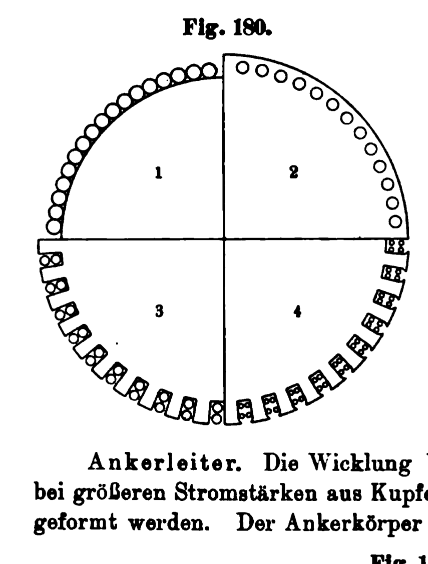
d) **Aufbau des Ankers.** Ankerkörper. Der Anker dreht sich zwischen den Magnetpolen, die ihn so umfassen, daß der zwischenliegende Luftraum nur eine geringe Breite hat. Auf diese Weise wird der Widerstand des magnetischen Kreises verringert und die Zahl der Kraftlinien vergrößert. Zu dem gleichen Zwecke ist das Innere der Ankerwicklung mit weichem Eisen ausgefüllt. Man kann aber den Kern nicht massiv herstellen, weil in ihm sonst, wie in der Wicklung, Ströme (Wirbelströme) induziert würden, die hemmend auf die Ankerdrehung wirken müßten. Er wird deshalb, wie **Fig. 179** zeigt, aus Eisenblechen von 0,3 bis 0,5 mm Stärke, die durch Papierzwischenlagen voneinander getrennt sind und senkrecht zur Richtung der erzeugten EMK stehen, zusammengesetzt. Der Rand der Ankerbleche und damit auch die Oberfläche des Ankerkörpers kann ver-

schiedene Formen, wie **Fig. 180** sie darstellt, erhalten. Der erste Teil zeigt einen Anker mit glatter Oberfläche und aufgelegten Drähten. Da beim Drehen des Ankers ein Zug auf die Drähte ausgeübt wird und außerdem Zentrifugalkräfte entstehen, müssen die Leiter durch umgelegte Metallbänder

Fig. 179.

gut befestigt werden. Um die Ankerdrähte von Zug zu entlasten und den Luftraum zwischen Ankerkörper und Polschuh zu verringern, kann man die Bleche in der Nähe des Randes mit Löchern für die Leiter versehen. Jedoch steht dann nur ein geringer Raum für die Wicklung zur Verfügung. Da die Lochanker auch sonst ungünstige Eigenschaften haben, sind sie nicht gebräuchlich. Am meisten verwendet man Zahnanker nach Teil 3 und 4 der Figur. Sie stellen durch ihre Zähne einen guten magnetischen Schluß her und erleichtern durch die Nuten die Befestigung der Ankerleiter.

Fig. 180.



Um eine starke Erwärmung des Ankerkerns zu verhüten, wird er oft mit Ventilationsschlitzen versehen, durch die bei der Drehung die Luft hindurchstreicht.

Ankerleiter. Die Wicklung besteht aus isolierten Kupferdrähten oder bei größeren Stromstärken aus Kupferstäben, die vor dem Aufbringen passend geformt werden. Der Ankerkörper wird mit getränkter Leinwand, Preßspan

Fig. 181.



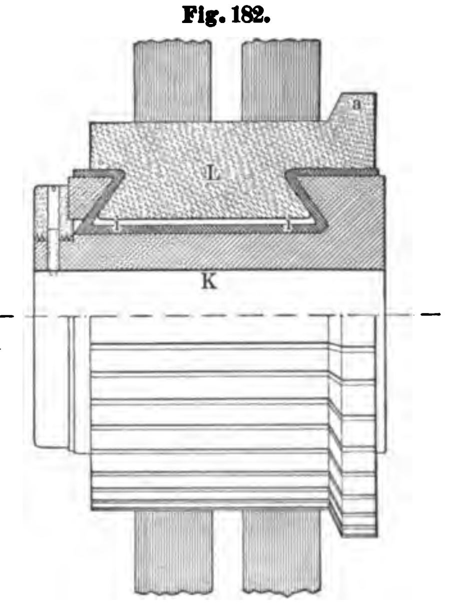
oder imprägniertem Papier umgeben. Die Ankernuten werden mit Preßspan oder Glimmer ausgekleidet. Die Stäbe von Stabwicklungen isoliert man durch Leinwand, Papier, Preßspan oder Mikanit und streicht sie mit Isolierlack. Drähte erhalten zwei oder drei Baumwoll-Umspinnungen oder -Um-

klöpplungen. Zum Festhalten der Ankerwicklung dienen mehrere Ringe von Metallband oder Draht. **Fig. 181** stellt einen fertigen Anker dar.

Der Querschnitt der Ankerleiter wird nach der zugelassenen Erwärmung bestimmt, die dem Quadrate der Stromstärke proportional ist. Da die verwendeten Isolationsmaterialien eine stärkere Erwärmung ertragen als gummiisolierte Leitungen, und da außerdem bei der Drehung des Ankers ein kühlender Luftzug entsteht, können die Ankerleiter stärker belastet werden als gewöhnliche Leitungen. Ihre Stromdichte schwankt zwischen 2 und 10 A für 1 qmm. Die Erwärmung kann nach den Maschinennormalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker[1]) über die Maschinenhaustemperatur bei Baumwollisolierung um 50° C, bei Papierisolierung um 60° C und bei Glimmer- oder Asbestisolierung um 80° C steigen.

e) Bauart und Behandlung des Kommutators. Der Kommutator besteht aus Segmenten oder Lamellen von hartgezogenem Kupfer, die, durch Glimmerzwischenlagen von 0,5 bis 1,2 mm Stärke voneinander isoliert, auf einer gußeisernen Buchse aufgebaut sind **(Fig. 182)**. Die Lamellen werden im Betriebe durch die darauf schleifenden Bürsten stark abgenutzt, namentlich wenn die Maschinen nicht funkenfrei laufen. Dabei verbrennt dann leicht diejenige Kante der Lamellen, die zuletzt die Bürsten verläßt. Zuweilen beobachtet man, daß nur jede zweite Lamelle verbrannt wird. Diese Erscheinung rührt daher, daß eine Spule zugleich an zwei Lamellen angeschlossen ist, damit ohne starke Verbreiterung der Lamellen eine bessere Stromzuleitung erzielt wird. Die verbrannten Stellen beseitigt man durch Abschleifen mit feinstem Sandpapier, das auf ein passend ausgerundetes Holzstück gelegt und gegen den umlaufenden Kommutator gedrückt wird. Das Abschleifen darf aber nicht erfolgen, solange der Kommutator noch durch den Betrieb erwärmt ist, weil sonst nach der Abkühlung wegen des größeren Ausdehnungskoeffizienten des Kupfers die Glimmerzwischenlagen hervorragen und bei erneuter Inbetriebsetzung ein Hüpfen der Bürsten verursachen würden. Ragen die Glimmerteilchen im gewöhnlichen Betriebe nach der Abkühlung des Kommutators hervor, so müssen sie abgeschliffen werden. Damit die Oberfläche der Lamellen gleichmäßig abgenutzt wird, ist es erforderlich, die Bürsten über die ganze Länge des Kommutators zu verteilen. Sehr oft kommt es vor, daß der Kommutator durch ungleichmäßige Abnutzung verschiedener Lamellen unrund wird und daher pendelnde Bewegungen der Bürsten und

Fig. 182.



[1]) E. T. Z. 1903, S. 684.

Funken verursacht. Er muß dann mit einem spitz geschliffenen Stahl abgedreht und mit Sandpapier abgeschliffen werden. Ein gut unterhaltener Kommutator muß eine spiegelglatte, hochglänzende Oberfläche und eine nicht allzu helle Kupferfarbe haben. Glänzende Streifen sind ein Zeichen, daß die Bürsten reißen. Nach dem Betriebe sollen der Kommutator und die angrenzenden Maschinenteile mit einem harten Pinsel oder einem Blasebalg von Metallstaub gereinigt werden. Schwarze Streifen, die sich durch das Schmieren von Kohlebürsten bilden, sind schon während des Betriebes zu beseitigen, da sie Stromübergänge verursachen.

Nach den Maschinennormalien ist für den Kommutator eine Übertemperatur von 60° C zugelassen.

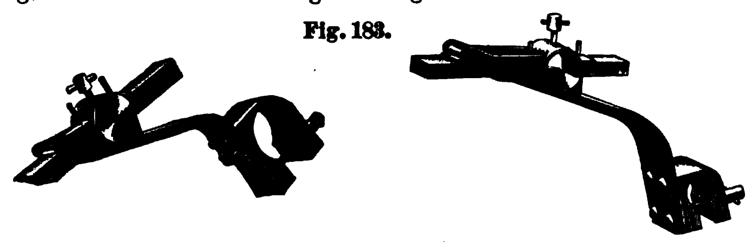
f) Lager. Der Anker ruht bei kleineren Maschinen, wie sie im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe benutzt werden, in Lagerschildern, die mit dem Polgehäuse verschraubt sind. Der Lagerkörper wird aus Gußeisen hergestellt. Er enthält Lagerschalen aus Bronze oder Weißmetall, in denen sich die Ankerwelle dreht. Die Lager müssen gut zentriert sein. Ebenso muß die Masse des Ankers so abgeglichen sein, daß er, mit der Welle auf Schneiden gelegt, in jeder beliebigen Stellung ruhig liegen bleibt. Das Lager darf sich nur so stark erhitzen, daß es noch mit der Hand anzufassen ist. Da eine starke Reibung zwischen der Welle und der Lagerschale stattfindet, muß das Lager gut geschmiert werden. In der Regel dienen dazu Schmierringe, die lose auf der Welle hängen und von ihr mitgenommen werden. Sie reichen mit ihrem unteren Teil in den Öltrog hinein und bringen daher bei ihrer Drehung das Öl auf die Welle. Der Öltrog hat unten einen bogenförmigen Abfluß, der einerseits verhindert, daß zu viel Öl eingefüllt wird, und andererseits eine Überwachung des Ölstandes von außen gestattet. Kleine Maschinen haben meist Dochtschmierung.

g) Bürsten. Arten und Eigenschaften. Die Bürsten bestehen meist aus Kupfergewebe oder Kupferblech oder Kohle. Man verwendet auch andere Metalle, wie Messing und Aluminium, oder Zusammensetzungen von Metall und Kohle. Metallbürsten haben den Vorteil, daß sie sehr geringen Widerstand besitzen und eine innige Berührung mit dem umlaufenden Kommutator herstellen. Sie können daher mit größeren Stromstärken belastet werden; für 1 qcm Berührungsfläche läßt man 25 bis 35 A zu. Die Metallbürsten haben aber eine stärkere Reibung und verursachen größeren Verschleiß als Kohlebürsten. Zur Verminderung der Reibung muß der Kommutator leicht mit Vaselin oder anderen geeigneten Mitteln geschmiert werden. Die Metallbürsten bedürfen einer sorgfältigen Überwachung. Namentlich muß darauf geachtet werden, daß ihre Ränder glatt abgeschnitten sind.

Kohlebürsten haben einen größeren Widerstand und eine weniger gleichmäßige Auflage. Sie können deshalb nur mit 5 bis 15 A für 1 qcm belastet werden. Der Widerstand nimmt mit dem Härtegrade zu. Man verwendet deshalb für Maschinen mit niedriger Spannung weiche Kohlen, die aber den Nachteil haben, daß sie den Kommutator mit einer leitenden Graphitschicht überziehen. Für Maschinen mit ganz niedriger Spannung lassen sich Kohlebürsten nicht benutzen. Im allgemeinen kann man auf eine Kohle 1 V Spannungsverlust rechnen. Der Widerstand ist aber insofern vorteilhaft,

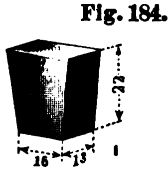
als die Bürsten bei Berührung zweier Lamellen die zugehörige Ankerspule nicht unmittelbar kurzschließen und zur Verminderung der Funkenbildung beitragen. Durch die leicht schmierende Wirkung der Kohlen wird die Reibung auf dem Kommutator vermindert. Er bedarf daher in der Regel keiner besonderen Schmierung. Die Kohlen werden, um deren Kontakt mit den Bürstenhaltern zu verbessern, an der Berührungsstelle verkupfert. Neu einzusetzende Kohlen schleift man ein, indem man sie mit der Hand gegen den Kommutator drückt und feines Sandpapier mit der rauhen Seite nach außen darunter hin und her zieht. Ist die richtige Rundung hergestellt, so spannt man die Kohle in den Halter ein und zieht das Sandpapier darunter hinweg, aber nur in der Drehungsrichtung.

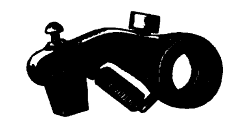
Fig. 183.



Bürstenhalter. Die Bürsten sitzen in Bürstenhaltern, die an dem Lagerschild auf einer gemeinsamen Bürstenbrücke befestigt sind. **Fig. 183** und **184** zeigen Halter für Metall- und Kohlebürsten. Erstere liegen tangential, letztere radial auf dem Kommutator. Häufig sind mehrere Bürsten nebeneinander angeordnet. Die Bürstenbrücke läßt sich mit allen Bürsten verschieben. Sie muß so eingestellt werden, daß an den Bürsten keine erheblichen Funken auftreten. Die Funken zeigen sich auch, wenn die Bürsten locker oder schief sitzen, oder wenn sie nicht in gleichmäßigen Abständen um den Kommutator herum stehen. Der Auflagedruck der Bürsten darf nicht zu groß sein. Er soll für 1 qcm Berührungsfläche bei Kupferbürsten 120 g und bei Kohlebürsten 140 g betragen.

Fig. 184.

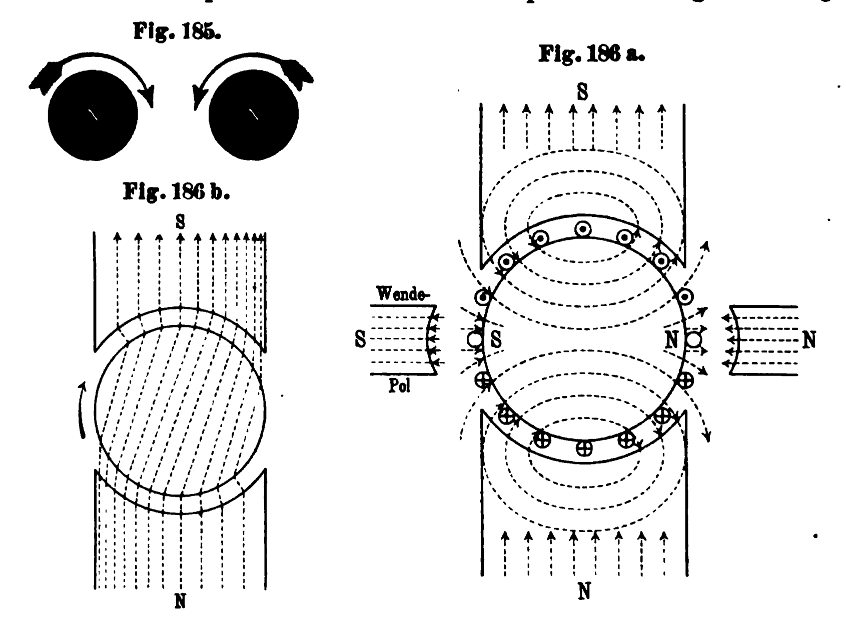




Bürstenstellung. Die Ankerspulen werden beim Durchgang der zugehörigen Kommutatorteile unter einer Bürste kurzgeschlossen und gelangen nachher in die andere Ankerhälfte mit umgekehrter Stromrichtung (Fig. 177). Eine plötzliche Umkehrung der Stromrichtung wird aber durch die Selbstinduktion der Spulen verhindert. Würde man daher die Bürsten in die neutrale Lage bringen, in der die kurzgeschlossenen Schleifen keine Änderung der eingeschlossenen Kraftlinienzahl erfahren, so würden die Spulen vermöge ihrer Selbstinduktion den früheren Strom beibehalten und mit entgegengesetzter Stromrichtung in die andere Ankerhälfte gelangen. Die Folge wäre ein heftiger Stromübergang zwischen den zugehörigen Lamellen. Man verschiebt deshalb die Bürsten so weit in der Drehungsrichtung, daß in den kurzgeschlossenen Spulen schon eine EMK von entgegengesetzter Richtung entsteht, die den Selbstinduktionsstrom vernichtet. Da die EMK während des Kurzschlusses nicht für den äußeren Stromkreis nutzbar gemacht wird,

während sie nachher zu der EMK der übrigen Spulen hinzutritt, entsteht eine geringe Schwankung der Maschinenspannung, welche die vorher erwähnten kleinen Pulsationen verstärkt.

Für die Verschiebung der Bürsten besteht noch ein zweiter Grund in der Rückwirkung des Ankers auf das magnetische Feld. Der Anker der Fig. 176 (S. 214) läßt sich als Elektromagnet betrachten, den ein auf der oberen Zylinderfläche nach vorn und auf der unteren nach hinten gerichteter Strom umkreist. Die Wirkung wird allerdings durch die quer verlaufenden Verbindungsstücke geschwächt. Nach der Regel, daß in einem, vom Beschauer gesehen, rechts herum umflossenen Stabe ein Südpol und in einem umgekehrt umkreisten Stabe ein Nordpol entsteht (**Fig. 185**), muß sich zur linken Seite des Ankers ein Südpol und zur rechten ein Nordpol bilden. **Fig. 186 a** zeigt



den Verlauf der erzeugten Kraftlinien. Das Ankerfeld ist in manchen Teilen dem Hauptfelde gleich gerichtet und in anderen entgegen gerichtet. Es ergibt sich daraus teilweise eine Verstärkung und teilweise eine Schwächung des Hauptfeldes. Das Ergebnis zeigt **Fig. 186 b**. Das Kraftfeld erscheint in der Drehungsrichtung verschoben. Dadurch wird auch eine weitere Verschiebung der Bürsten erforderlich. Da die Rückwirkung des Ankers auf das magnetische Feld mit der Stromstärke der Maschine zunimmt, muß bei veränderter Stromstärke eine neue Einstellung der Bürsten erfolgen. Die Ankerrückwirkung läßt sich durch Hilfspole ausgleichen, die nach Fig. 186 a zwischen den Hauptpolen angebracht werden und das Ankerfeld durch ein entgegengesetzt gerichtetes Feld aufheben. Die Hilfspole, die man Wendepole nennt, werden durch einige im Ankerstromkreise liegende Windungen erregt und erzeugen daher ein Kraftfeld, das wie das Ankerfeld mit der Stromstärke zunimmt. Bei Wendepolmaschinen ist eine erhebliche Bürstenverschiebung nicht erforderlich.

h) Felderregung. Magnetgestelle. Zur Erzeugung des magnetischen Feldes dienen Elektromagnete von gedrungener Form. Zuweilen sind sie, wie **Fig. 187** zeigt, durch ein Joch verbunden, über das die den Anker durchsetzenden Kraftlinien zurückkehren. Die meisten Maschinen haben aber ein geschlossenes Polgehäuse **(Fig. 188)**, in dem die Kraftlinien einen doppelten Rückweg finden. Größere Maschinen haben vier oder mehr Pole **(Fig. 189)**, die den Anker in wechselnder Reihenfolge umgeben. Die Kraftlinien verteilen sich dann von einem Nordpol auf die beiden benach-

Fig. 187.

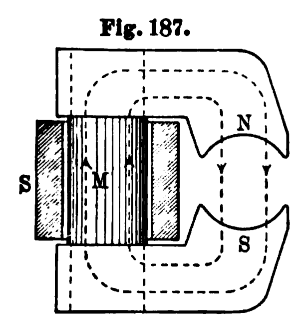
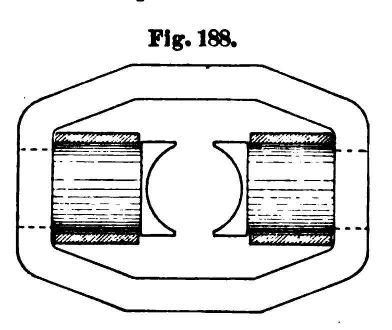
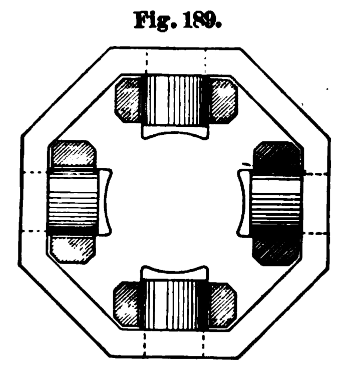


Fig. 188.



barten Südpole und kehren über das Gehäuse zurück. Das Gestell wird bei Maschinen von mäßiger Größe in einem Stück gegossen, da Verbindungsstellen den magnetischen Widerstand erhöhen. Die Magnetschenkel werden aus Blechen oder aus Stahlguß oder aus Abschnitten von runden Walzeisenstücken hergestellt und an das Gehäuse angesetzt. Die Polschuhe bestehen aus Stahlguß oder Gußeisen. Sehr oft stellt man sie aus Blechen her, um zu verhüten, daß die Ankerzähne, an denen sich die Kraftlinien zusammendrängen, in den Polschuhen Wirbelströme erzeugen.

Fig. 189.



Die Oberfläche der Erregerspulen wird durch den vom Anker erzeugten Luftstrom gekühlt. Ihre Temperaturzunahme darf 10° mehr betragen als beim Anker. An Stromdichte für 1 qmm läßt man 1 bis 3 A zu. **Fig. 190** zeigt eine Dynamo mit zwei Polen, **Fig. 191** eine solche mit vier Polen.

Schaltung der Feldbewicklung. Zur Erregung der Feldbewicklung dient entweder eine fremde Spannung oder die Spannung der Dynamo selbst. Man unterscheidet danach Maschinen mit Fremderregung und solche mit Selbsterregung. Bei der selbsterregenden Dynamo wird entweder der volle Ankerstrom oder ein Teil davon für die Erzeugung des Feldes nutzbar gemacht. Bei der Maschine mit Hauptstromerregung, die man Hauptstrom- oder Reihendynamo (Seriendynamo) nennt, besteht die Feldbewicklung nur aus wenigen Windungen starken Drahtes. Sie verbrauchen bei größeren Maschinen 2 bis 5 Proz. der erzeugten Spannung, bei kleineren häufig mehr. **Fig. 192** stellt die Schaltung einer Hauptstrommaschine mit einem zweischenkligen Magnetgestell und einer Feldbewicklung M dar.

Die Maschine mit Teilstromerregung nennt man Nebenschlußdynamo. Ihre Feldbewicklung, die von den Bürsten abgezweigt ist, hat eine große Anzahl von dünnen Windungen mit hohem Widerstand **(Fig. 193).** Die

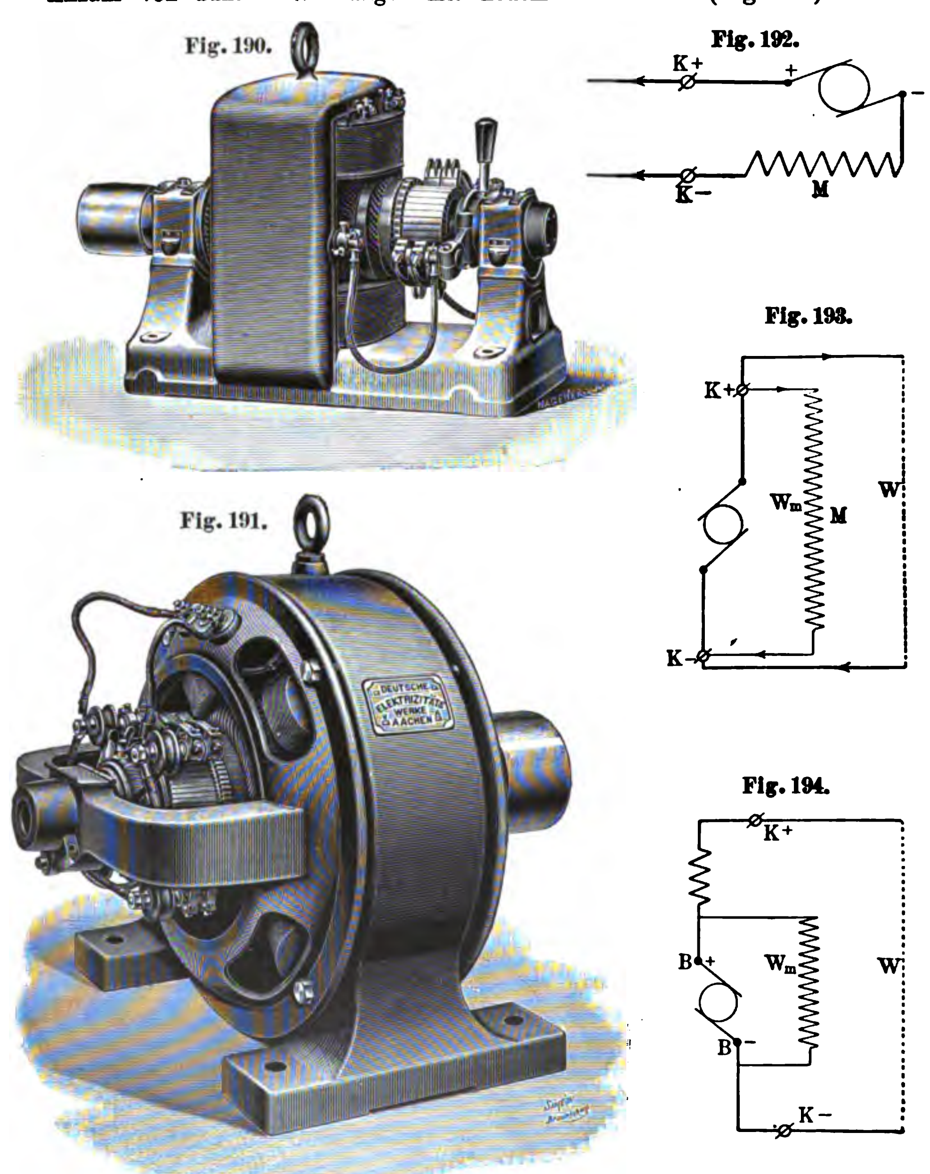


Fig. 190.
Fig. 191.
Fig. 192.
Fig. 193.
Fig. 194.

Stromstärke der Feldbewicklung beträgt 2 bis 5 Proz. des Hauptstromes, bei kleineren Maschinen aber häufig mehr.

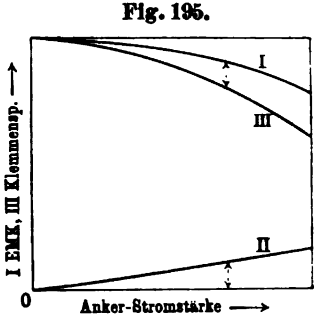
Eine dritte Art von selbsterregenden Dynamos besitzt eine im Hauptstromkreise liegende starke Wicklung von wenigen Windungen und außerdem eine Nebenschlußwicklung **(Fig. 194).** Sie nimmt danach eine Mittel-

stellung zwischen der Hauptstrom- und der Nebenschlußdynamo ein und wird Kompound- oder Doppelschlußmaschine genannt.

Beim Anlassen einer selbsterregenden Dynamo besteht anfänglich nur ein ganz schwaches magnetisches Feld, das von remanentem Magnetismus der Feldmagnete herrührt. Im Anker entsteht deshalb nur eine schwache EMK, die aber ihrerseits die Erregung verstärkt und so schließlich die Maschine auf ihre volle Spannung bringt. Der äußere Stromkreis muß daher bei der Hauptstrommaschine anfänglich geschlossen sein; bei der Nebenschlußdynamo wird er am besten geöffnet. Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe werden die Dynamos, wenn ein Gleichstromnetz zur Verfügung steht, aus diesem erregt; anderenfalls verwendet man Nebenschlußmaschinen.

i) **Verhalten verschiedenartig geschalteter Dynamos.** Fremderregte Dynamos. Die von einer Dynamomaschine gelieferte EMK steigt mit der Zahl der wirksamen Ankerleiter, der Umdrehungszahl und der Stärke des magnetischen Feldes. Daneben ist auch die Stärke des entnommenen Stromes von Einfluß. In **Fig. 195** sind die Werte der EMK einer fremderregten Dynamo für verschiedene Stromstärken durch Schaulinien ersichtlich gemacht. Kurve I zeigt die EMK, die bei geringer Ankerstromstärke anfänglich nur wenig abnimmt, aber bei größerer Stromstärke infolge der Ankerrückwirkung stark abfällt. Zugleich nimmt mit der Stromstärke der im Anker eintretende Spannungsverlust zu. Seine Werte werden durch die Linie II angegeben. Zieht man sie von denjenigen der Kurve I ab, so erhält man in Kurve III die Klemmenspannung der Maschine. Man nennt diese Darstellungsweise Belastungs-Charakteristik.

Fig. 195.



Belastungs-Charakteristik des Nebenschluß-Generators.

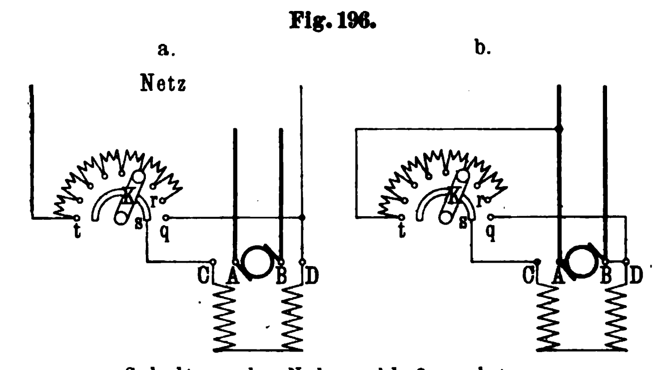
Nebenschlußdynamos. Die Charakteristik der Nebenschlußdynamo ist ähnlich. Nur fallen die Kurven stärker ab, da mit abnehmender Klemmenspannung auch die Felderregung schwächer wird.

k) **Regulierung.** Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe werden die Dynamomaschinen vorwiegend zur Sammlerladung benutzt. Da die Sammlerspannung im Verlaufe der Ladung steigt, muß die Maschinenspannung entsprechend erhöht werden. Man verwendet daher zur Stromlieferung hauptsächlich Maschinen mit Fremderregung oder an Orten mit Wechselstromnetzen solche mit Nebenschluß, da sich ihre Spannung ohne Änderung der Umdrehungszahl durch Vergrößerung der Feldstärke erhöhen läßt. Zu diesem Zwecke wird vor die Feldbewicklung ein regulierbarer Widerstand geschaltet, dessen Verminderung eine Verstärkung des Schenkelstromes bewirkt. Auch ohne Änderung der Maschinenleistung wird eine Regulierung des Schenkelstromes dadurch notwendig, daß die Feldbewicklung sich erwärmt und ihren Widerstand erhöht.

Die übliche Anordnung des Nebenschlußregulierwiderstandes zeigt **Fig. 196a** für die fremderregte und **Fig. 196b** für die selbsterregende

Dynamo [1]). Beim Ausschalten der Maschine wird die Kurbel K rechts herum gedreht, bis sie schließlich vor dem Verlassen des letzten Widerstandskontakts r den Kontakt q berührt und so die Erregerwicklung kurzschließt. Erst dann wird der äußere Erregerkreis unterbrochen. Würde vor dem Abschalten des Erregerstromes die Wicklung nicht kurzgeschlossen, so könnte durch die beim Verschwinden des Magnetismus entstehende hohe EMK die Isolation der Wicklung durchschlagen werden. Infolge des Kurzschlusses erzeugt die EMK zwar in der Wicklung einen starken Strom, der aber bald aufhört. Bei manchen Maschinen ist der Abstand zwischen den Kontakten r und q des Regulierwiderstandes so groß, daß sie nicht gleichzeitig von der Kurbel berührt werden. Der Erregerstrom, der schon durch das Einschalten des ganzen Regulierwiderstandes verringert ist, wird dabei aber nicht plötzlich unterbrochen, sondern durch einen Lichtbogen zwischen dem Kontakt r und der Kurbel allmählich gedämpft. Auf diese Weise wird ebenfalls verhütet, daß eine hohe EMK in der Schenkelbewicklung entsteht. Da der Lichtbogen die Metallteile abschmilzt, muß er durch eine schnelle Drehung

Fig. 196.



Schaltung des Nebenschlußregulators
a) beim fremderregten Generator, b) beim selbsterregenden Generator.

der Kurbel abgerissen werden. Die Bewegung der Kurbel darf aber erst zum Schluß mit größerer Geschwindigkeit erfolgen, wenn der im Ladekreise liegende selbsttätige Minimalausschalter abgefallen ist und den Stromkreis unterbrochen hat. Bei schnellerer Drehung könnte es vorkommen, daß der Selbstschalter nicht Zeit zum Abfallen fände und dann durch den umgekehrt von der Batterie zur Maschine fließenden Strom wieder festgehalten würde.

1) **Einschaltung von Dynamos.** Beim Einschalten wird eine fremderregte oder Nebenschlußmaschine in Umdrehung gesetzt, sodann die Erregerwicklung eingeschaltet und der Regulierwiderstand so eingestellt, daß die EMK der Maschine um einige Volt höher ist als die erforderliche Betriebsspannung, z. B. die Gegenspannung einer zu ladenden Batterie. Darauf wird der Hauptstromkreis durch die Schalter geschlossen und dann der Regulierwiderstand so lange verkleinert, bis die gewünschte Stromstärke erreicht ist.

---

[1]) Die Buchstaben entsprechen den vom Verbande D. E. festgesetzten Bezeichnungen der Anschlußstellen. E. T. Z. 1908, S. 471.



Wenn eine zweite Maschine parallel mit einer anderen auf denselben Verbrauchskreis arbeiten soll, wird sie erregt, bis ihre EMK gleich der Klemmenspannung der ersten Maschine ist, und dann auf das zu speisende Netz geschaltet. Sie läuft anfänglich leer und wird dadurch belastet, daß man sie stärker erregt. Bei der Zuschaltung der zweiten Maschine sinkt die Stromstärke der ersten, so daß sie einer neuen Einstellung bedarf.

Wenn zwei Maschinen gleichzeitig eingeschaltet werden, bringt man vielfach die Stromstärke der ersten nicht von vornherein auf ihren vollen Wert, sondern erhöht sie erst nach dem Einschalten der zweiten Maschine. Die Anfangsstromstärke darf aber nicht zu niedrig sein, weil sie sonst beim Zuschalten der zweiten Maschine unter den Wert fallen könnte, bei dem der Selbstschalter abfällt.

2. Gleichstrommotoren.

a) Grundgesetze. Wirkungsweise. Während der Generator mechanische Leistung in elektrische verwandelt, verbraucht der Elektromotor elektrische Energie und liefert an seiner Welle mechanische Leistung, deren Größe in Pferdestärken (PS) angegeben wird. 1 PS entspricht einer elektrischen Leistung von 736 Watt, also beispielsweise bei 220 V Spannung einer Stromstärke von 736/220 = 3,3 A. Der Motor ist danach die Umkehrung des Generators. Man kann deshalb auch jede Dynamomaschine als Motor benutzen. Wie bei der Dynamo durch Drehung der Ankerbewicklung in einem magnetischen Felde eine EMK erzeugt wird, übt im Motor umgekehrt das magnetische Feld einen Zug auf die Ankerleiter aus. Die Zugkraft ist proportional der Feldstärke und der Ankerstromstärke. Sie nimmt auch mit der Zahl der Ankerleiter zu. Die Wirkungsweise läßt sich aus Fig. 186a a. S. 220 erklären. Durch die Feldbewicklung und den Anker möge aus einer Gleichstromquelle Strom geschickt werden. Es entsteht dann im Anker ein magnetisches Querfeld, dessen Pole von den gleichnamigen Polen der Magnetschenkel abgestoßen und von den ungleichnamigen angezogen werden. Dadurch wird der Anker in Drehung versetzt. Da infolge der Wirkung des Kommutators das Ankerfeld dauernd dieselbe Lage behält, übt das Hauptfeld einen gleichbleibenden Zug auf den Anker aus. Die Drehungsrichtung ist, wie sich aus der Figur ergibt, bei gleicher Stromrichtung umgekehrt wie bei der Dynamo. Wenn man also auf den Motor die Regel von Flemming anwenden will, muß man die Finger der linken Hand benutzen.

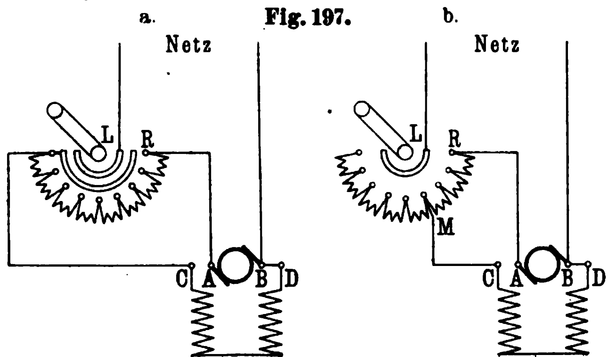
Bürstenverschiebung. Das Ankerfeld des Motors wirkt wie beim Generator auf das Hauptfeld zurück und macht daher ebenfalls eine Bürstenverschiebung notwendig. Bei gleicher Stromrichtung müssen die Bürsten in derselben Weise verschoben werden, d. h. der Drehungsrichtung entgegen, da diese umgekehrt ist wie beim Generator.

Gegen-EMK. Bei ihrer Drehung im magnetischen Felde unterliegen die Ankerdrähte denselben Bedingungen wie die Leiter einer Dynamo. Es entsteht also in ihnen eine EMK. Sie ist der dem Anker von außen zugeführten EMK entgegengesetzt und schwächt daher den von der Maschine aufgenommenen Strom. Man nennt deshalb die im Anker erzeugte Kraft Gegen-EMK.

b) Anlasser. Die Gegen-EMK ist der Umdrehungszahl proportional. Diese ist beim Einschalten einer Maschine Null und steigt allmählich, bis die schwere Masse des Ankers ihre volle Umlaufsgeschwindigkeit erlangt hat. Der Anker würde daher anfangs bedeutend mehr Strom aufnehmen, als er gewöhnlich erhält und als seine Leiterstärke zuläßt, wenn nicht der Anfangsstrom durch vorgeschalteten Widerstand ermäßigt würde.

Eine übermäßig hohe Stromstärke würde auch in den Zuleitungen des Starkstromnetzes einen starken Spannungsabfall hervorbringen und daher Schwankungen in der den übrigen Stromverbrauchern zugeführten Spannung erzeugen. Deshalb ist vom Verbande Deutscher Elektrotechniker die Größe des zulässigen Anlaufstromes durch „Normale Bedingungen für den Anschluß von Motoren an öffentliche Elektrizitätswerke" festgesetzt worden[1]). Bei Motoren von weniger als 0,5 PS ist eine Grenze für den Anlaufstrom nicht vorgeschrieben, weil sie noch keine schädlichen Spannungsschwankungen hervorbringen können.

Fig. 197.



Schaltung des Anlassers beim Nebenschlußmotor.

Für Gleichstrommotoren von 0,5 bis 1 PS ist das Dreifache des normalen Betriebsstromes als Anlaufstrom zugelassen, damit Anlaßvorrichtungen einfachster Art verwendet werden können. Bei stärkeren Motoren ist unterschieden zwischen solchen, die mit geringem Strom, und solchen, die mit hohem Strom anlaufen. Der geringe Anlaufstrom darf das $1^1/_4$-fache, der hohe das $2^1/_2$-fache des normalen Betriebsstromes betragen. Die Motoren des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes, die zum Antrieb von Generatoren benutzt werden, laufen mit unbelasteter Dynamo, also mit geringem Strom an.

Die Anlaßvorrichtungen bestehen, wie **Fig. 197** zeigt, aus Widerständen, die anfänglich vor den Anker geschaltet sind und nach und nach ausgeschaltet werden. Beim Einschalten wird die Kurbel *L* zuerst auf den ersten Kontakt gestellt. Der Anker erhält dann einen größeren Strom als im gewöhnlichen Betrieb und wird dementsprechend mit verstärkter Anzugskraft in Drehung gesetzt. Er erhöht daher schnell seine Geschwindigkeit und seine Gegen-EMK und ermäßigt so die Stromstärke. Schon nach sehr kurzer Zeit tritt ein Gleichgewichtszustand in der Stromaufnahme und der Geschwindigkeit ein. Man schaltet dann von Kontakt zu Kontakt weiter und erhöht dabei

[1]) E. T. Z. 1908, S. 357, 663.

jedesmal die Umdrehungsgeschwindigkeit. Die Bewegung der Kurbel darf nicht zu schnell erfolgen, damit der Motor Zeit hat, seine Geschwindigkeit zu erhöhen. Der Motor muß deshalb beim Anlassen beobachtet werden; seine Geschwindigkeitserhöhung ist am Ton der Maschine zu erkennen. Das Einschalten darf jedoch nicht übermäßig langsam erfolgen, weil die Anlaßwiderstände der Materialersparnis wegen nicht so stark bemessen sind, daß sie den Strom dauernd führen könnten. Aus diesem Grunde muß auch darauf geachtet werden, daß die Kurbel bis zum letzten Kontakt bewegt und der gesamte Widerstand ausgeschaltet wird. Beim Ausschalten des Motors braucht auf die Umdrehungsgeschwindigkeit keine Rücksicht genommen zu werden. Um den Anlaßwiderstand nicht unnötig zu belasten, führt man die Kurbel schnell über alle Kontakte zurück.

c) Schaltung von Nebenschlußmotoren. Die Motoren können wie die Generatoren als Hauptstrom- oder Nebenschlußmaschinen geschaltet werden. Zum Antrieb stromliefernder Maschinen werden Nebenschlußmotoren benutzt, da sie, wie später erörtert wird, ihre Umdrehungszahl bei allen Belastungen fast unverändert beibehalten. Dagegen benutzt man zum Antrieb der Hughesapparate, deren Elektromotor unter voller Belastung anläuft, Hauptstrommotoren, weil diese anfänglich wegen des verstärkten Schenkelstromes und der so vergrößerten Feldstärke eine höhere Anzugskraft haben und schneller ihre volle Geschwindigkeit erreichen.

Bei den Nebenschlußmotoren (Fig. 197 a. S. 226) wird die Feldbewicklung aus dem Netz gespeist.

Der Nebenschluß muß so geschaltet sein, daß er beim Anlassen der Maschine nicht später als der Anker unter Strom gesetzt wird, damit sofort ein kräftiges Feld vorhanden ist, das den Anker in Drehung versetzt. Ferner darf der Nebenschluß beim Abstellen des Motors, wie bei dem Generator, nicht unterbrochen werden. Man schließt ihn deshalb an den Anlaßwiderstand an und stellt auf diese Weise einen dauernden Kurzschluß des Erregerkreises über den Anker her. Beim Ausschalten gleicht sich daher der Selbstinduktionsstrom der Feldbewicklung über den Anker aus, und zwar gedämpft durch den vorgeschalteten Anlaßwiderstand.

Wenn der Anlasser einen besonderen Schleifring für die Erregung hat (Fig. 197 a), ist die Nebenschlußwicklung zugleich mit dem Ende des Anlaßwiderstandes und dem Schleifring verbunden. Der Nebenschluß erhält dann in jeder Stellung des Anlassers die volle Netzspannung. Hat der Anlasser keinen besonderen Schleifring für die Erregung (Fig. 197 b), so legt man den Nebenschluß im Punkte M an den Anlaßwiderstand an. Der Anschlußpunkt ist so gewählt, daß einerseits beim Betriebe in der Endstellung des Anlassers nicht allzuviel Widerstand vor die Feldbewicklung geschaltet wird, und daß andererseits der Widerstand beim Ausschalten groß genug ist, um den Kurzschlußstrom auf die Höhe des gewöhnlichen Ankerstromes zu ermäßigen.

d) Umdrehungszahl des Nebenschlußmotors bei verschiedener Belastung. Der Motor nimmt aus dem Netze eine bestimmte Elektrizitätsmenge auf und setzt sie mit einem gewissen Verlust in mechanische Leistung um. Die aufgenommene Leistung entspricht dem Produkt aus Stromstärke und Spannung. Sie dient dazu, im Anker einen Strom und im magneti-

schen Kreise einen Kraftlinienfluß zu erzeugen. Der Nebenschlußmotor verbraucht einen starken Strom für den Anker und einen schwachen für die Feldbewicklung. Letzterer ist in der erwärmten Maschine unveränderlich, wenn die Netzspannung gleichmäßig bleibt. Ändert sich nun die Belastung eines Motors, so muß der zweite von den beiden Faktoren, die für die Zugkraft in Betracht kommen, nämlich die Ankerstromstärke, eine entsprechende Vergrößerung oder Verkleinerung erfahren, damit das Gleichgewicht zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung wiederhergestellt wird. Z. B. möge ein 8-pferdiger Motor, der zum Antrieb einer Lademaschine für eine 24-voltige Fernsprechbatterie dient, im Verlauf der Ladung zu einem bestimmten Zeitpunkt 150 A bei 26,8 V, mithin 150 × 26,8 = 4000 W erzeugen. Die Umsetzung erfolgt mit einem Gesamtwirkungsgrade von 65 Proz. Der Motor muß danach 4000/0,65 = 6200 W aus dem Netze aufnehmen. Bei einer Netzspannung von 444 V beträgt danach die Stromstärke 6200/444 = 14 A. Davon entfallen auf den Nebenschluß bei 1100 Ohm Widerstand 444/1100 = 0,4 A, mithin auf den Anker 13,6 A. Soll dann der Maschinensatz eine um 10 Proz. erhöhte Spannung liefern, so erhöht sich die Leistung um 10 Proz. Dementsprechend muß auch die Ankerstromstärke um 10 Proz., d. h. auf 15 A steigen.

Diese Erhöhung der Ankerstromstärke nimmt der Motor selbsttätig vor, indem er seine Umdrehungszahl und damit seine Gegen-EMK vermindert. Der Ankerstromstärke entspricht bei einem Widerstande von 0,87 Ohm anfangs eine EMK von 13,6 × 0,87 = 11,8 V und später eine solche von 15 × 0,87 = 13 V. Danach ist die Gegen-EMK bei 444 V Netzspannung und Vernachlässigung des Spannungsverbrauchs der Zuleitungen und Bürsten = 444 — 11,8 = 432,2 bzw. = 444 — 13 = 431 V. Der Unterschied beträgt 1,2 V. Bei 1400 Umdrehungen in der Minute entfallen auf 1 V Gegen-EMK 1400/431 = 3,3 Umdrehungen. Bei Abnahme der Gegen-EMK um 1,2 V wird also die Geschwindigkeit um 3,3 × 1,2 = 4 Umdrehungen abnehmen.

Der größte Unterschied in der Umdrehungszahl ergibt sich, wenn der Maschinensatz einmal mit leerlaufender und dann mit vollbelasteter Dynamo angetrieben wird. Bei Leerlauf nimmt der Anker des Motors 1,8 A auf. Dieser Wert entspricht einer EMK von 1,8 × 0,87 = 1,6 V. Die Gegen-EMK ist danach = 442,4 V.

Nimmt man den oben ermittelten Wert von 431 V als niedrigste Gegen-EMK an, so ergibt sich ein Unterschied in der Umdrehungszahl von (442,4 — 431) × 3,3 = 38 Umdrehungen oder 3 Proz. Der Unterschied ist zwar bei kleineren Maschinen um einige Prozent größer, aber doch so gering, daß die Umdrehungszahl des Nebenschlußmotors als unabhängig von der Belastung angesehen werden kann.

e) Umdrehungszahl bei Erwärmung der Feldbewicklung. Eine merkliche Änderung der Umdrehungszahl wird aber im Verlaufe des Betriebes durch die Erwärmung der Feldbewicklung bewirkt. Bei der besprochenen Maschine hat die Schenkelbewicklung zu Beginn des Betriebes 900 Ohm, nach einer Stunde 1040 Ohm und nach sieben Stunden 1100 Ohm Widerstand. Da in einem Kupferleiter bei einer Temperaturerhöhung um 1° C eine

Widerstandszunahme um das 0,004 fache eintritt, berechnet sich die Erwärmung der Schenkelbewicklung nach einer Stunde auf

$$\frac{1040 - 900}{900 \times 0{,}004} = 40^0\,\mathrm{C}$$

und nach sieben Stunden auf

$$\frac{1100 - 900}{900 \times 0{,}004} = 56^0\,\mathrm{C}.$$

Der Ankerwiderstand nimmt ebenfalls zu von 0,74 bis auf 0,87 Ohm. Die Leistung möge gleichbleibend 4000 W und die Energieaufnahme 6200 W betragen. Dann ist die Nebenschlußstromstärke anfänglich $444/900 = 0{,}5$ A und zum Schluß $444/1100 = 0{,}4$ A, d. h. um 20 Proz. geringer. Die Feldstärke vermindert sich aber um einen geringeren Teil, da die Schenkel ziemlich gesättigt sind. Die Verringerung möge 10 Proz. betragen. Wenn die Umdrehungszahl unverändert bliebe, würde sich die Gegen-EMK mit der Feldstärke um 10 Proz. ermäßigen. Sie betrug anfänglich bei $14 - 0{,}5 = 13{,}5$ A Ankerstrom und 0,74 Ohm Ankerwiderstand $444 - 13{,}5 \times 0{,}74 = 434$ V und würde mit der Feldstärke um 10 Proz. = 43 V fallen. Diese Abnahme würde eine sehr bedeutende Zunahme des Ankerstromes bewirken. Der Ankerstrom kann aber nur um so viel steigen, daß das Produkt aus Feldstärke und Ankerstromstärke wieder denselben Wert erhält wie früher. Da die Feldstärke nur noch $^9/_{10}$ des früheren Wertes beträgt, muß der Strom auf das $^{10}/_9$ fache steigen, also von 13,5 bis auf 15 A. Dem entspricht eine Gegen-EMK von $444 - 15 \times 0{,}87 = 431$ V. Der Abfall beträgt danach nicht, wie oben angegeben, 43, sondern nur 3 V. Die übrigbleibenden 40 V müssen von der Maschine durch Erhöhung der Umdrehungszahl erzeugt werden. Die Zunahme berechnet sich danach auf $40 \times 3{,}3 = 132$ Umdrehungen oder etwa 10 Proz.

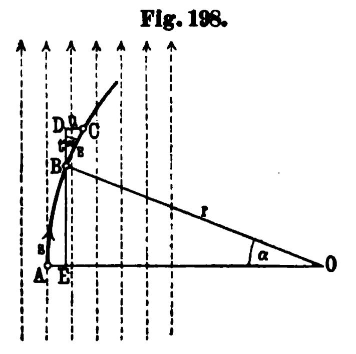
Wegen der Abhängigkeit der Umdrehungszahl von der Feldstärke kann man diese zur Regulierung der Umlaufsgeschwindigkeit benutzen, indem man vor die Schenkelbewicklung einen Regulierwiderstand einschaltet. Im Telegraphen- und Fernsprechbetriebe wird aber von diesem Mittel nur selten Gebrauch gemacht.

3. Wechselstrommaschinen.

a) Gesetze des Wechselstromes. α) Kurvenform. Wie unter 1. (s. S. 213) angegeben, überdecken und summieren sich die in den einzelnen Ankerspulen eines Gleichstromgenerators erzeugten elektromotorischen Kräfte so, daß eine gleichbleibende EMK entsteht. Ihre Kurvenform ist daher ziemlich gleichgültig. Bei Wechselstrommaschinen ist aber die Art und Weise, in der die EMK ihren Wert ändert, von Bedeutung. Sie läßt sich aus Fig. 171 (s. S. 212), die eine einfache Wechselstrommaschine darstellt, herleiten. In **Fig. 198** sind die Kraftlinien durch gestrichelte Linien und der Weg eines Ankerleiters durch einen Kreisbogen mit dem Halbmesser r und dem Mittelpunkt O angegeben. Der durch einen kleinen Kreis angedeutete Ankerleiter möge sich durch die Anfangslage A bewegen und in einem unendlich kleinen Zeitteilchen die Strecke s zurücklegen. Seine Richtung stimmt

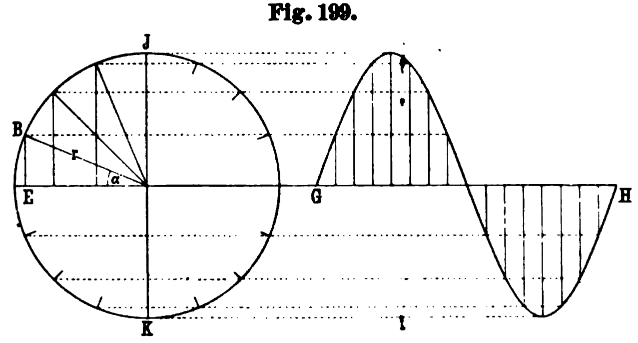
anfänglich mit derjenigen der Kraftlinien überein. Er schneidet daher keine Kraftlinien und enthält keine EMK. In kurzer Entfernung vom Anfangspunkte der Bewegung biegt aber die Bahn des Leiters um und schneidet die Kraftlinien unter einem gewissen Winkel, der sich immer mehr vergrößert. Die Bewegung des Leiters zwischen zwei Punkten B und C mit dem Abstande s kann man sich in der Weise ausgeführt denken, daß er zuerst das Stück t in der Richtung der Kraftlinien und dann das Stück u senkrecht dazu zurücklegt. u ist das Maß für die Anzahl der geschnittenen Kraftlinien und für die Größe der erzeugten EMK. In dem kleineren Dreieck BCD ist die unendlich kleine Strecke s als Gerade anzusehen. Sie schließt mit BD einen Winkel α ein. Dieser ist gleich dem Winkel BOA, um den sich der Halbmesser aus seiner Anfangslage bewegt hat, da ihre Schenkel aufeinander senkrecht stehen. Mithin sind die Dreiecke BCD und BOE einander ähnlich. Daher ist $u = BE.s/r$, d. h. die senkrecht zur Richtung der Kraftlinien liegende Komponente u von s ist in jeder Lage des Leiters proportional dem Lote auf den Durchmesser der Anfangslage.

Fig. 198.



Um ein Bild von dem Verlaufe der EMK bei einer ganzen Kreisbewegung, einer Periode, zu gewinnen, teile man nach **Fig. 199** den Umfang eines Kreises in gleiche Teile und rolle ihn mit seinen Teilpunkten in verkleinertem Maßstabe auf der Strecke GH ab. In jedem Teilpunkte der Geraden wird

Fig. 199.



dann ein Lot von der Länge des zugehörigen Lotes BE errichtet. Die Verbindungslinie ihrer Endpunkte zeigt den Verlauf der EMK.

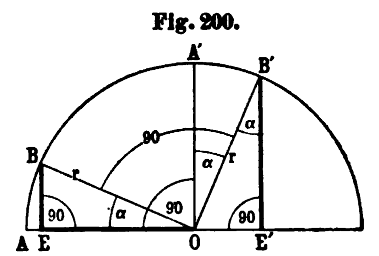
Aus Fig. 198 läßt sich ersehen, daß die Strecke u, die den Wert der erzeugten EMK darstellt, $= s.\sin\alpha$ ist. Danach ist in jedem Augenblick die EMK proportional dem Sinus des Drehungswinkels. Man nennt daher die Kurve der EMK Sinuslinie.

Die Größe der EMK für jede Lage wird auch durch die Projektion des Halbmessers auf den Durchmesser JK (Fig. 199) dargestellt. Man erhält so das Bild eines Punktes, der bei der Drehung des Halbmessers auf der Linie JK hin und her wandert. Die Art seiner Bewegung entspricht den Schwingungen, die ein Punkt eines Pendels, einer gezupften Saite oder einer

Fernhörermembran ausführt. Man nennt sie harmonische Schwingung. Ein Fernhörer wird von dem in einer Nachbarleitung fließenden Wechselstrom um so weniger beeinflußt, je mehr sich dieser der Sinusform nähert. Dagegen wirkt ein Strom, dessen Kurve Zacken aufweist, stark induzierend auf Nachbarleitungen.

β) Mittlere Stromstärke. Schließt man an eine Wechselstrommaschine einen Stromverbraucher an, so schwankt dessen Stromstärke wie die EMK zwischen einem höchsten Plus- und einem gleich großen Minuswerte. Als Maß für die Stärke des Wechselstromes dient aber nicht der Höchstwert, sondern der Mittelwert, der dieselbe Erwärmung hervorbringt wie ein Gleichstrom von bestimmter Stärke. Die Wärmewirkung des Stromes ist nach dem Jouleschen Gesetz dem Quadrat der Stromstärke proportional. Man findet danach die mittlere Erwärmung, die ein Wechselstrom hervorbringt, wenn man zwischen seinem Null- und seinem Höchstwerte, also während einer Viertelperiode, für eine unendlich große Anzahl von Punkten das Quadrat der Stromstärke ermittelt und die Summe durch die Anzahl der Zählungen teilt. Führt man die Summierung nach **Fig. 200** zugleich in zwei Quadranten aus, indem man von den um 90° auseinander liegenden Punkten A und A' ausgeht und in beiden um gleiche Winkel α fortschreitet, so erhält man in allen Stellungen zwei kongruente Dreiecke OBE und $B'OE'$, in denen die Strecken BE und $B'E'$ die Augenblickswerte der Stromstärke darstellen. Da $OE = B'E'$ ist, erhält man als Quadrat der Stromstärken $(BE)^2 + (OE)^2 = (OB)^2$ oder r^2. Derselbe Wert ergibt sich für alle Stellungen der beiden Halbmesser. Mithin erhält man für n Zählungen in zwei Quadranten $n \cdot r^2/n = r^2$ und für einen Quadranten $r^2/2$. Da r den Höchstwert der Stromstärke darstellt, beträgt der Mittelwert der Quadrate der Stromstärken die Hälfte des Höchstwertes. Die mittlere Stromstärke selbst, die man effektive Stromstärke nennt,

Fig. 200.



$$\text{ist} = \frac{\text{Höchstwert}}{\sqrt{2}}.$$

Wenn also beispielsweise ein Wechselstrom dieselbe Erwärmung hervorbringt wie ein Gleichstrom von 1 A, so hat er eine effektive Stärke von 1 A und schwankt zwischen $+\frac{1}{\sqrt{2}}$ und $-\frac{1}{\sqrt{2}}$ oder zwischen + 1,41 und — 1,41 A. Für die Bemessung der Leitungen kommt der Effektivwert in Betracht.

γ) Phasenverschiebung. Die Leistung des Stromes in einem Gleichstromkreise ist proportional dem Produkt $i \cdot e$ oder $i^2 \cdot w$, stimmt also mit der Wärmewirkung überein. Im Wechselstromkreise gilt zwar dasselbe Gesetz; es ist aber zu berücksichtigen, daß der Augenblickswert der Stromstärke wegen der Selbstinduktion der im Stromkreise liegenden Spulen nicht der Augenblicksspannung entspricht, sondern diesen Wert erst später erreicht. Die Voreilung der Spannung vor dem Strome bleibt während der ganzen Periode dieselbe. Den Winkel, um den der Halbmesser der EMK vor dem-

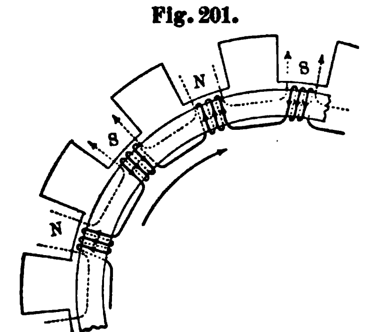
jenigen des Stromes voreilend zu denken ist, wird mit φ bezeichnet. Der Augenblickswert der Stromstärke ist zu allen Zeiten $= e \,.\, cos\, \varphi$ [1]). Die Leistung des Wechselstromes ist danach proportional dem Werte $i \,.\, e \,.\, cos\, \varphi$; $cos\, \varphi$ nennt man den Leistungsfaktor.

Wenn Strom und Spannung entgegengesetzte Richtung haben, ist die Leistung negativ und wird daher von einem Elektrizitätszähler nicht aufgezeichnet. Damit diese „wattlosen", unbezahlten Ströme nicht über ein gewisses Maß steigen, schreiben die „Anschlußbedingungen" vor, daß der Leistungsfaktor eines anzuschließenden Motors bei voller Belastung nicht weniger betragen darf als

0,6	für	Motoren	bis	einschließlich	0,5	PS,
0,65	„	„	„	„	1	PS,
0,7	„	„	„	„	1,5	PS,
0,75	„	„	„	„	5	PS,
0,77	„	„	„	„	10	PS,
0,8	„	„	„	„	15	PS.

b) Wechselstromgeneratoren. α) Einphasenstrom. Die Wechselstrommaschinen haben in der Regel eine größere Anzahl von Magnetpolen. Wie in **Fig. 201** angedeutet ist, verlaufen die magnetischen Kraftlinien von einem Nordpol zu den beiden danebenliegenden Südpolen und durchsetzen so die Spulen bei ihrer Drehung in wechselnder Richtung. Während sich die eine Hälfte der Spulen von einem Nordpol zu einem Südpol bewegt, hat die andere Hälfte der Spulen die umgekehrte Richtung. Es werden daher in zwei aufeinander folgenden Spulen entgegengesetzte elektromotorische Kräfte induziert. Da die Spulen aber entgegengesetzt gewickelt sind, summieren sich alle Kräfte. Die beiden Hauptenden der Wicklung sind an Schleifringe gelegt, auf denen Bürsten als Stromabnehmer schleifen. Für die Wirkungsweise der Maschine ist es gleichgültig, ob die Wicklung oder das magnetische Feld gedreht wird, und ob der Anker innen oder außen liegt. Wenn das magnetische Feld sich bewegt, wird der Feldbewicklung der Erregerstrom, der aus einer Sammlerbatterie oder einer auf der Welle mit angebrachten kleinen Gleichstrommaschine stammt, über Schleifringe zugeführt, während die stromerzeugende Wicklung fest mit dem Verbrauchskreise verbunden ist.

Fig. 201.



β) Mehrphasenstrom. Denkt man sich in Fig. 201 auf dem Anker eine zweite gleichartige Wicklung, jedoch um einen halben Polabstand verschoben, angebracht und mit zwei besonderen Schleifringen verbunden, so würde sie ebenfalls Wechselstrom von derselben Art liefern. Jedoch würde der zweite Strom gegen den ersten um 90° verschoben sein. Man erhielte also zwei Ströme von verschiedener Phase. Gebräuchlicher als der Zweiphasenstrom ist der Dreiphasenstrom. Er entsteht, wenn die Maschine, wie **Fig. 202** zeigt, drei um ein Drittel des Kreisumfangs, also um 120°, gegen-

[1]) Arendt, Wellentelegraphie, S. 17.



einander verschobene Wicklungen hat. Die Verschiebung der drei Stromkurven gegeneinander gibt **Fig. 203** an. Die Verbindung der Ankerspulen untereinander zeigt **Fig. 204**. Jede Spule liegt mit einem Ende an einem besonderen Schleifringe, während die zweiten Enden der Spulen mit einem vierten, gemeinsamen Schleifring verbunden und über diesen geerdet sind. Wegen der sternförmigen Anordnung nennt man die Schaltung Sternschal-

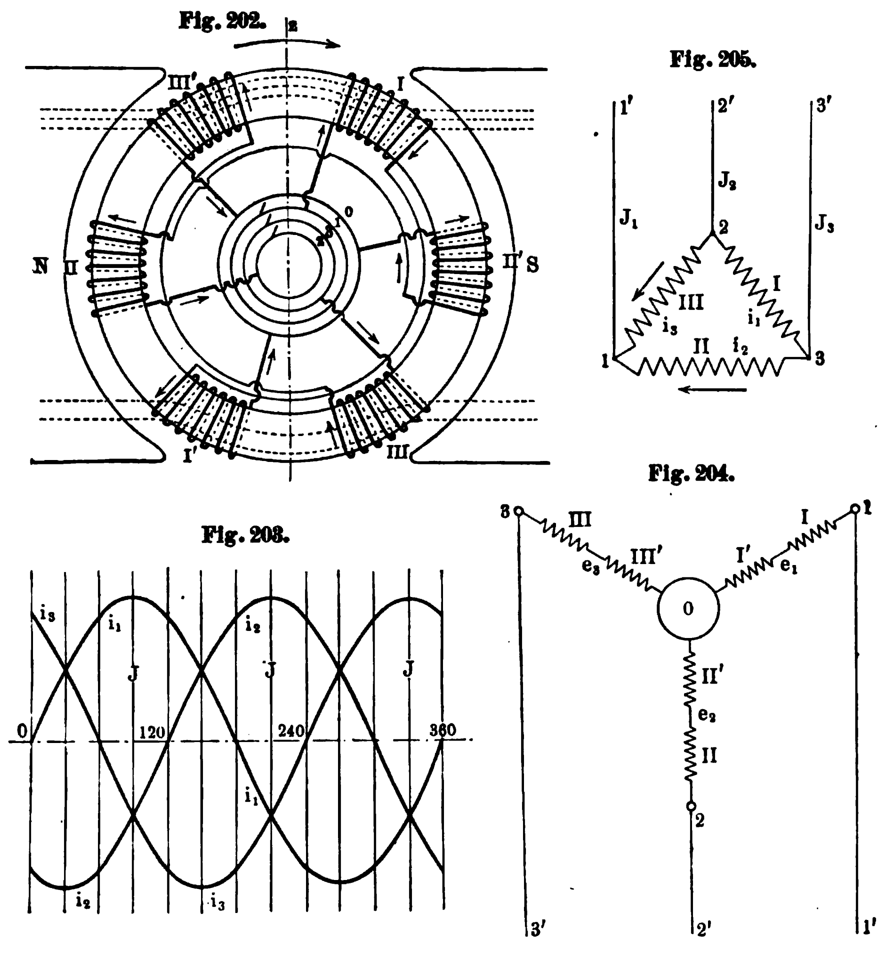


Fig. 202.
Fig. 205.
Fig. 203.
Fig. 204.

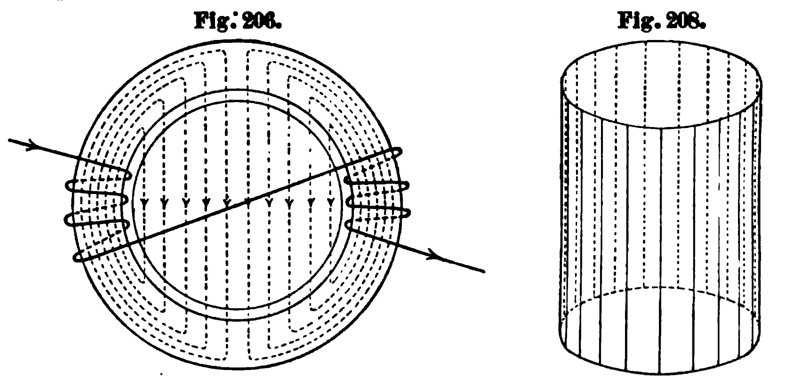
tung. Häufig wird auch eine andere Schaltung benutzt, bei der immer die Enden von zwei Spulen verbunden und an einen Schleifring gelegt sind (**Fig. 205**). Man nennt sie Dreiecksschaltung.

c) Wechselstrommotoren. α) Synchronmotoren. Wie bei den Gleichstrommaschinen ergibt die Umkehrung des Wechselstromgenerators einen Wechselstrommotor. Führt man einen Wechselstrom nach **Fig. 206** um einen Eisenring, so entsteht ein magnetisches Feld, das fortwährend seine Richtung wechselt. Befindet sich innerhalb des Ringes ein durch Gleichstrom erregter Magnet, so wird er durch das wechselnde Kraftfeld nicht ohne weiteres in Drehung gesetzt. Erst wenn man ihm künstlich eine solche

Drehungsgeschwindigkeit erteilt, daß seine Pole stets dieselbe Lage zum Kraftfelde haben, wird er von diesem mitgenommen und vermag eine Zugkraft auszuüben. Wenn aber die Belastung zu groß wird oder sonstige Unregelmäßigkeiten auftreten, kommt der Anker mit dem Strome „außer Tritt" und bleibt stehen. Wegen des Gleichlaufs des Ankers mit dem Felde nennt man diese Art von Motoren Synchronmotoren.

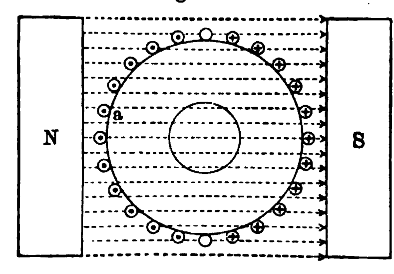
β) Asynchronmotoren für Dreiphasenstrom (Drehstrom). Drehfeld. Bessere Eigenschaften als die Synchronmotoren haben asynchrone Motoren, namentlich solche für mehrphasigen Wechselstrom. Am meisten wird der Dreiphasenstrom benutzt, weil er nur drei Leitungen erfordert. Denkt

Fig. 206. **Fig. 208.**



man sich auf dem Ringe der Fig. 206 drei Wicklungen verteilt, die von den drei Leitungen eines Dreiphasennetzes gespeist werden, so erzeugt jede Spule ein wechselndes Kraftfeld. Die Felder sind um 120° gegeneinander verschoben und bilden sich in wechselnder Aufeinanderfolge. Das Gesamtfeld, das sich aus ihnen zusammensetzt, scheint daher im Kreise herumzuwandern. Man kann die Wirkung des Dreiphasenstromes nach **Fig. 207** durch einen Dauermagneten ersetzt denken, der am Joch aufgehängt ist und sich um dessen Mitte dreht. Wegen der Erzeugung des Drehfeldes bezeichnet man den dreiphasigen Wechselstrom meist mit Drehstrom.

Fig. 207.



Kurzschlußanker. Der Anker des Drehstrommotors trägt, wie **Fig. 208** zeigt, auf dem Umfange eines Zylinders oder Ringes Kupferstäbe, deren Enden durch kreisförmige Verbindungsstücke kurzgeschlossen sind. Bei der Drehung des magnetischen Feldes werden die Leiter des Kurzschlußankers von magnetischen Kraftlinien geschnitten, die in ihnen Ströme erzeugen. In Fig. 207 steigen nach der früher angegebenen Regel die Ströme bei Rechtsdrehung des Feldes in der linken Hälfte der Ankerdrähte auf und in der rechten Hälfte ab. Der Anker erzeugt dabei seinerseits ein magnetisches Feld, das unten seinen Südpol und oben seinen Nordpol hat. Er wird daher von dem Drehfelde, das dauernd den gleichen Zug auf ihn ausübt, mitgenommen. Dabei muß er langsamer umlaufen als das Feld, damit

seine Leiter von den Kraftlinien geschnitten werden. Er läuft also nicht synchron mit dem Felde, sondern asynchron. Das Zurückbleiben hinter dem Felde bezeichnet man mit Schlüpfung. Sie schwankt je nach der Größe der Motoren zwischen 4 und 10 Proz. Der Motor läuft mit steigender Belastung langsamer und regelt so selbsttätig seine Energieaufnahme. Da die Drehung des Ankers auf Induktionswirkung zurückzuführen ist, nennt man die Motoren mit Kurzschlußanker auch Induktionsmotoren. Meist bezeichnet man ihren festen Teil mit „Ständer" und ihren beweglichen Teil mit „Läufer".

Anlaßvorrichtungen. Für Drehstrommotoren von mehr als 2 PS wird statt des einfachen Kurzschlußankers ein Schleifring- oder Phasenanker benutzt. Er enthält wie der Ständer drei Spulengruppen, die meist in Sternschaltung verbunden und mit ihren Enden an drei Schleifringe gelegt sind (**Fig. 209**). An diese sind drei Widerstände angeschlossen, die beim Anlassen anfänglich eingeschaltet sind und dann allmählich mit Hilfe der dreiarmigen Kurbel ausgeschaltet werden. Häufig können nach dem Anlassen die Spulen durch einen Kurzschlußhebel unmittelbar miteinander verbunden und die Bürsten abgehoben werden.

Fig. 209.

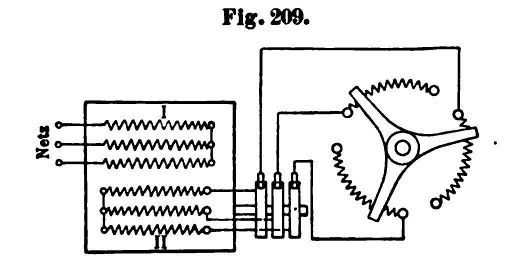


Fig. 210.



Fig. 210 stellt einen Drehstrommotor mit Schleifringen und Kurzschlußhebel dar. Bei größeren Motoren, die unbelastet anlaufen, werden zuweilen wie bei den Gleichstrommotoren Anlaßwiderstände benutzt, die in den drei Netzzuleitungen liegen und durch eine dreiarmige Kurbel allmählich ausgeschaltet werden.

Die Anlaßvorrichtungen sollen beim Anlassen die Stromstärke des Ankers und der Netzzuleitungen ermäßigen. Ohne eine solche Vorrichtung würde bei größeren Maschinen in dem anfänglich stillstehenden und von sehr vielen Kraftlinien geschnittenen Anker ein starker Strom entstehen und zugleich eine Rückwirkung auf das Netz erfolgen. Nach den „Anschlußbedingungen" dürfen nur Motoren bis zu 0,5 PS ohne Anlaßvorrichtungen eingeschaltet werden. Für Drehstrommotoren bis zu 2 PS ist beim Anlassen das 2- bis $2^1/_2$fache des normalen Stromes zugelassen. Bei größeren Motoren beträgt der zugelassene Anlaufstrom wie bei Gleichstrommotoren das $1^1/_4$- bzw. $2^1/_2$fache des normalen Stromes.

γ) Asynchronmotoren für Einphasenstrom. Auch für einphasigen Wechselstrom werden Induktionsmotoren gebaut. Da der Einphasenstrom

kein Drehfeld erzeugt, ist zum Anlassen eine Kunstphase erforderlich. Zu diesem Zwecke zweigt man von den beiden Wechselstromleitungen einen dritten Kreis ab, in dem durch eine Drosselspule oder einen Kondensator eine Phasenverschiebung gegen den Strom des Hauptkreises erzeugt wird. Der dritte Kreis wird wie die dritte Phase bei einem Drehstrommotor benutzt und nach dem Anlassen unterbrochen. In den Läuferkreis werden beim Anlassen wie beim Drehstrommotor Widerstände eingeschaltet, um das Ansteigen der Stromstärke zu verhüten.

Neben den Induktionsmotoren werden für Einphasenstrom auch Motoren mit Kommutator nach Art der Gleichstrommotoren gebaut. Es sind Hauptstrommotoren, in denen sich gleichzeitig das magnetische Feld und der Ankerstrom umkehren, so daß ihre Wirkung aufeinander immer dieselbe bleibt.

Eine dritte Art von Motoren für einphasigen Wechselstrom hat einen Ständer wie die Induktionsmotoren und einen Kommutatoranker, auf dem ein kurzgeschlossenes und aus der neutralen Lage verschobenes Bürstenpaar liegt.

ALPHABETISCHES SACHREGISTER.

Höchs

1909

	Ob Gru
9	1
0,043 × 140 =	
0,063 × 5[3]) × 90 =	2
0,11 × 5 × 90 =	-
0,031 × 8[4]) × 90 =	2
0,076 × 8 × 90 =	-
0,045 × 8 × 90 =	3
0,029 × 10[5]) × 46 =	1
0,063 × 10 × 46 =	-
(0,16 + 0,08[7]) (90 + 46) =	3
0,08 (4 × 90 + 2 × 46) =	3
	17
3 × 0,08 × 8 × 70 =	13
4 × 0,08 × 8 × 20 =	5
	4
	40

en. — [3]) Höchstens fünf Verbind
und eine Kontrollampe an einen

Zweite Ausschlagtafel.

Zu S. 17.

Stromstärke in A			Bemerkungen
	1919		
	6		7
6		13	Unterlagen wie in der Strombedarfsberechnung I
45	0,1 × 5 × 210 =	105	
79	0,11 × 8 × 210 =	185	
29	0,062 × 10 × 84 =	52	
33	—	50	
36	—	81	
—	—	—	
228		486	
185		—	
87		84	
500		570	

Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

a)
b)

β)

c)

n von Eleme

n	Beschaffun au	
z- tt t a. t n. p. lt - g	1 Zelle	1 V EM (od Klem span bei schwa Str
	M	.
	14	1
	0,90	(

